UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

BEATRIZ MELISSA CAMPOS

Impacto do barramento de um rio amazônico sobre os padrões de sincronia de grupos funcionais fitoplanctônicos

Maringá
2022

BEATRIZ MELISSA CAMPOS

Impacto do barramento de um rio amazônico sobre os padrões de sincronia de grupos funcionais fitoplanctônicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia.
Área de concentração: Ecologia e Limnologia

Orientadora: Dr.ª Luzia Cleide Rodrigues
Coorientadores: Dr. Alfonso Pineda Barbosa
Prof. Dr. Luis Maurício Bini

Maringá
2022

"Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

C198i

Campos, Beatriz Melissa, 1997-
Impacto do barramento de um rio amazônico sobre os padrões de sincronia de grupos funcionais fitoplanctônicos / Beatriz Melissa Campos. -- Maringá, 2022.
42 f. : il. (algumas color.).

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-- Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2022.
Orientadora: Dr.ª Luzia Cleide Rodrigues.
Coorientador: Dr. Alfonso Pineda Barbosa.
Coorientador: Prof. Dr. Luis Maurício Bini.

1. Fitoplâncton de água doce - Comunidades, Ecologia de - Abordagem funcional - Impacto ambiental - Região Amazônica. 2. Fitoplâncton de água doce - Sincronia espacial - Barramento - Região Amazônica. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. -579.817627209811

Maria Salete Ribelatto Arita CRB 9/858
João Fábio Hildebrandt CRB 9/1140

BEATRIZ MELISSA CAMPOS

Impacto do barramento de um rio amazônico sobre os padrões de sincronia de grupos funcionais fitoplanctônicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia e aprovada pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Dr.ª Luzia Cleide Rodrigues
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Dr. Matheus Tenório Baumgartner
Pós-doutorando/Universidade Federal de Goiás (UFG)

Dr. Luiz Felipe Machado Velho
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 20 de abril de 2022.
Local de defesa: Anfiteatro Prof. “Keshiyu Nakatani”, Nupélia, Bloco G-90, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

Dedico este trabalho à minha família, em especial minha avó "Negrinha" (*in memorian*) e a todos aqueles que contribuíram para o desenvolvimento dessa dissertação.

AGRADECIMENTOS

Desenvolver este trabalho foi um desafio. Durante este período, tenho certeza que todo o crescimento pessoal e profissional que conquistei fizeram tudo valer a pena. Foi mais fácil concretizar este desafio graças ao suporte de algumas pessoas, as quais, as poucas palavras a seguir não serão suficientes para agradece-las da melhor forma.

À minha orientadora Profa. Dra. Luzia Cleide Rodrigues, Lu, não sei nem como expressar minha gratidão por todos os conhecimentos acadêmicos e extra acadêmicos que me proporcionou nesses dois anos, obrigada por aceitar ser minha orientadora! Não posso deixar de agradecer imensamente a sua paciência em me ensinar a organizar tabelas quantas vezes fosse necessário e por toda sua dedicação nesse período;

Aos meus co-orientadores Dr. Alfonso Pineda Barbosa e Prof. Dr. Luis Maurício Bini por toda a ajuda que deram para aperfeiçoar cada vez mais este trabalho. Obrigada por dispenderem tempo para discutirmos quantas vezes fossem necessários os temas deste trabalho;

Aos meus amigos do laboratório de Ecologia do fitoplâncton por todas as discussões, cafés e risadas, vocês tornaram essa caminhada mais leve! Em especial:

- À Susi, por todas as experiências de vida e ensinamentos compartilhados desde a orientação do meu tcc. O amor que você demonstra pelas algas é motivador para continuar nesse caminho!
- À Re, pelos inúmeros conselhos, pães de queijo, figurinhas e experiências trocadas, sua vinda do "seu país MT" pra cá veio para alegrar os dias no laboratório! Obrigada por compartilhar comigo todas as idas à vendinha, perrengues e alegrias dessa jornada!
- Ao Fe, por todas as experiências e momentos compartilhados desde a graduação, não tenho palavras para agradecer as inúmeras vezes que me ajudou sem nem pensar duas vezes, tenho certeza que somos uma dupla dinâmica hahaha obrigada por tanto!
- À Min, por estar me ensinando "desde quando tudo era mato", desde formatar uma simples tabela até compartilhar lições de vida, você foi essencial nessa jornada!
- À Laurita, por todas as risadas, piadas, vídeos, ideias e conversas. Foram essenciais nessa reta final!
- Ao Alf, por todos os cafés, conhecimentos acadêmicos e de vida compartilhados. Sua disposição em ajudar sempre é algo admirável!
-

À Rafaela Granzotti, ao Matheus Baumgartner e ao Fernando Lansac-Toha: Rafa, Math e Nando, não existem palavras que expressem a gratidão em ter vocês comigo desde o começo, sempre me auxiliando da melhor maneira quando era necessário, tirando um pouquinho do tempo de vocês para me explicarem com muito carinho todas as vezes que eu precisei. Inúmeras vezes vocês "salvaram a pátria"!

Aos meus amigos que se fizeram presentes nessa jornada: Gabi, Amanda, Samara, Ceci, Nadi, Vit e Capeleto, muito obrigada por todas as risadas, jantas e cervejas compartilhadas! Vocês sempre se fizeram presentes e me acompanharam durante todos esses anos! "Amigos são flores que a vida planta na gente!"

Ao meu amor, Lara, não existem palavras que expressem tudo o que já vivemos nesses oito anos juntas! Você é meu exemplo de força, determinação e dedicação. Obrigada por segurar a minha mão em todos os momentos, sempre me apoiando, me colocando pra cima e nunca me deixando desistir!

À minha mãe Renata, meu pai Marciano, minha irmã “May”, meu cunhado “Anacre”, minha avó Inez e todos os outros. Obrigada família por todo o amor incondicional e ensinamentos! Vocês são a minha base, meu orgulho e meu espelho, espero um dia refletir todo esse amor e dedicação que vocês emanam!

Aos funcionários do Nupélia e do PEA por todo o empenho, paciência e disposição, em especial a Bete;

Aos membros da banca examinadora: Dr. Luiz Felipe Machado Velho (UEM), Dr. Matheus Tenório Baumgartner (UFG), Louise de Souza Magalhães Braghin (UEM) e Priscilla Carvalho (UFG) por aceitarem compor a banca e contribuir para o aperfeiçoamento do trabalho;
Ao Programa de Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais (PEA);

Ao Núcleo de Pesquisas em Limnologia, Ictiologia e Aquicultura (Nupélia) pela estrutura e recursos fornecidos para a realização deste trabalho;

Ao programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais – (PEA);

À Universidade Estadual de Maringá (UEM) por toda a infraestrutura concedida desde os primeiros anos de graduação;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001;

Acima de tudo agradeço a Deus pois sem seu amparo e proteção nada seria possível!

"Nada na natureza é aleatório.
Uma coisa parece aleatória apenas através
da incompletude do nosso conhecimento"
– Baruch Spinoza

Impacto do barramento de um rio amazônico sobre os padrões de sincronia de grupos funcionais fitoplanctônicos

RESUMO

O grau de correlação de populações no espaço é denominado sincronia espacial e pode ser afetado por interações interespecíficas, dispersão e fatores ambientais de ampla escala, (i. e., efeito Moran). O estudo deste fenômeno pode colaborar na compreensão da estabilidade temporal das comunidades e a descobrir quais os mecanismos associados ao processo. Avaliou-se a influência de um barramento em um rio da bacia Amazônica (UHE Santo Antônio do Jari) sobre a sincronia espacial ambiental e do fitoplâncton do rio Jari e tributários. Mensurou-se a sincronia (total, média e intervalo de confiança) para cada variável abiótica, para a densidade de toda a comunidade e para cada grupo funcional de Reynolds, considerando a área total (11 locais - rio Jari + tributários), apenas rio Jari (cinco locais) e apenas tributários (seis locais), utilizando uma série temporal de oito anos. Regressões matriciais múltiplas foram utilizadas para identificar os fatores determinantes da sincronia do fitoplâncton. Verificou-se mudanças nos padrões de sincronia após o barramento. A dinâmica temporal das variáveis ambientais, da densidade de toda a comunidade e de alguns grupos funcionais apresentou-se mais sincrônica quando considerado somente o rio Jari, do que toda a área ou somente os tributários. Em geral, a distância ambiental mostrou-se o preditor mais importante para explicar a sincronia espacial do que a distância geográfica.

Palavras-chave: Sincronia fitoplanctônica e ambiental. Reservatório. Amazônia. Monitoramento ambiental. Série temporal.

The impact of damming in an Amazonian River on the synchrony of phytoplankton functional groups

ABSTRACT

The degree at which populations are correlated in space is called spatial synchrony and can be affected by interspecific interactions, dispersion, and large-scale environmental factors, i. e. Moran effect. The study of this phenomenon can help understanding the temporal stability of communities and the underlying mechanisms. The influence of damming in a river from the Amazon basin (Santo Antônio do Jari HPP) on the synchrony of the environment and the phytoplankton community was evaluated, both for the total density and for different Reynolds functional groups. Was investigated whether the effects would be similar for the main channel (Jari River), tributaries, and for the total area (Jari + tributaries). The mean synchrony values and the confidence intervals of each abiotic variable, functional group, and the total density were estimated for the total area, Jari River and tributaries. Matrix-based multiple regression were also performed to identify the most important drivers of synchrony of the phytoplankton. Changes in the synchrony patterns were verified after the damming. The temporal dynamics of environmental variables, total density and of some functional groups was more synchronous when considering only the Jari River, than the total area or only tributaries. Environmental synchrony and environmental distance were the main mechanisms behind synchrony for some functional groups.

Keywords: Phytoplankton and environmental synchrony. Reservoir. Amazon. Environmental monitoring. Time series.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Science of the Total Environment*. Disponível em: https://www.elsevier.com/journals/science-of-the-total-environment/0048-9697/guide-for-author

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 13
2 METODOLOGIA 14
2.1 Área de estudo 14
2.2 Amostragem 15
2.3 Análises no laboratório 16
2.4 Análise de dados 17
2.4.1 Caracterização ambiental 17
2.4.2 Sincronia fitoplanctônica 17
2.4.3 Sincronia ambiental 18
2.4.4 Análise de mudança de ponto (changepoint) 18
2.4.5 Determinantes da sincronia 18
3 RESULTADOS 19
3.1 Caracterização e sincronia ambiental 19
3.2 Comunidade fitoplanctônica e Sincronia 23
3.3 Determinantes da sincronia da comunidade fitoplanctônica 25
4 DISCUSSÃO 26
4.1 Condições ambientais 26
4.2 Comunidade fitoplanctônica e Sincronia 27
4.3 Fatores determinantes da sincronia da comunidade 29
5 CONCLUSÃO 30
REFERÊNCIAS 31
APÊNDICE A – Descrição dos grupos funcionais 37
APÊNDICE B – Valores de sincronia ambiental 38
APÊNDICE C – Variação temporal da densidade e dos valores de sincronia 39
APÊNDICE D – Valores de sincronia da densidade total e dos GFRs 40
APÊNDICE E – Regressões matriciais múltiplas 41

1 INTRODUÇÃO

As flutuações das populações podem ser espacialmente sincronizadas (LIEBHOLD; KOENIG; BJØRNSTAD, 2004), ou seja, as abundâncias em pares de localidades, ao longo do tempo, podem estar correlacionadas. Os três principais processos determinantes da sincronia espacial são o efeito Moran, a dispersão entre ambientes e as interações interespecíficas (LIEBHOLD; KOENIG; BJØRNSTAD, 2004). O efeito Moran prevê que populações locais, com estruturas de dependência de densidade similares e expostas a dinâmicas ambientais espacialmente correlacionadas, e.g., temperatura ou precipitação, responderão de maneira similar, i.e., apresentarão alta sincronia (Moran, 1953; Rusak et al., 1999; Zanon et al., 2019; mas ver Hansen et al., 2020). Essas dinâmicas ambientais também podem ser sincrônicas, i.e., sincronia ambiental. Dessa forma, temporalmente, a variação ambiental pode influenciar as flutuações espaciais e temporais da comunidade (KOENIG, 2002; LODI et al., 2014).

A alta dispersão de indivíduos também pode sincronizar as populações. Em contraste, baixos valores de sincronia podem ocorrer quando as condições ambientais dos locais apresentam diferentes dinâmicas e quando a dispersão é limitada (CAVANAUGH et al., 2013; LANSAC-TÔHA et al., 2008; ZANON et al., 2019). Em outras palavras, populações com dinâmicas assíncronas podem indicar que elas respondem de forma distinta às variações ambientais (LOREAU; DE MAZANCOURT, 2013; REZENDE et al., 2021; XU et al., 2012). Interações interespecíficas também podem diminuir a sincronia espacial, pois seu efeito, i.e. positivo – facilitação ou negativo – herbivoria e intensidade sobre as populações pode variar entre locais. A sobreposição de nicho é outro fator que pode provocar tanto efeitos positivos, i.e., quando o recurso não é limitante, quanto negativos, i.e., quando recursos e predadores são capazes de regular as populações de maneira diferente (LOREAU; DE MAZANCOURT, 2013).

Estudos sugerem que populações com dinâmicas síncronas apresentam maiores riscos de extinção (HEINO et al., 1997). Por exemplo, se diferentes populações locais são negativamente afetadas por algum distúrbio ambiental de grande escala, então as densidades destas populações declinariam simultaneamente, reduzindo o potencial de dispersão entre populações com baixa densidade e populações capazes de exportar indivíduos, i.e., efeito resgate (GRANZOTTI; AGOSTINHO; BINI, 2022). Por outro lado, mudanças ambientais antropogênicas, e.g., criação de reservatórios e eutrofização, que ocorrem numa região também podem aumentar as densidades de diferentes populações locais, tornando-as mais síncronas (LOREAU; DE MAZANCOURT, 2008).

Os impactos dos barramentos sobre as dinâmicas populacionais podem ser intensos, pois alteram a hidrodinâmica, e os ambientes podem passar de condições lótica para lênticas (STRASKRABA, 1999) e aumentam o nível de água, o que pode influenciar o grau de conectividade do rio principal com ambientes adjacentes, influenciando as trocas de organismos e matéria entre eles, causando homogeneidade nas condições ambientais (BOZELLI et al., 2015) e consequentemente o aumento da sincronia ambiental e da comunidade fitoplanctônica.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar se o barramento influenciou a sincronia espacial da comunidade fitoplanctônica total e de diferentes grupos funcionais. É esperado que os valores de sincronia espacial aumentem após a construção do barramento pois o reservatório poderá reduzir a velocidade de fluxo e, assim, as densidades de diferentes populações locais aumentariam nesses ambientes mais lênticos. Espera-se que os padrões de sincronia sejam diferentes no rio Jari e nos tributários, devido a existência de condições ambientais que diferem entre os dois ambientes.

Ademais, avaliou-se a influência das distâncias geográficas e ambientais sobre a sincronia da comunidade. Espera-se que comunidades presentes em locais ambientalmente mais dissimilares sejam assíncronas, devido a maior probabilidade de ocorrência de efeitos estocásticos e diversidade de respostas às condições ambientais (VIVIANI et al., 2019). Similarmente, espera-se que comunidades de locais mais distantes espacialmente sejam assíncronas, pois a dispersão entre estas pode ser dificultada. Outrossim, foi avaliada a sincronia ambiental a fim de entender possíveis relações com a sincronia da comunidade fitoplanctônica.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A área estudada faz parte do rio Jari e seus tributários, sendo o rio Jari um tributário da margem esquerda do rio Amazonas, localizado na divisa entre os estados do Pará e Amapá e possui cerca de 790 km de extensão. No local, existem atividades de lazer e apreciação paisagística devido a Cachoeira de Santo Antônio do Jari, que se mantiveram mesmo após a construção do barramento. A Usina Hidrelétrica (UHE) de Santo Antônio do Jari, foi construída entre 2011 e 2014, é do tipo fio d'água e está localizada na cidade de Laranjal do Jari – AP (Figura 1). Possui uma extensão de 28 km, área total de 31,7 km^2, profundidade média de 9,5 metros, vertedouro com vazão de 9.593 m^3 s^{-1}, volume de água de 133,39 milhões m^3 e tempo de residência da água de 1,5 dias (http://www.edpjari.com.br/). O estudo abrangeu os quatro períodos hidrológicos que caracterizam a região: 1. águas altas (fevereiro a maio) com dezessete

amostragens; 2. vazante (junho a julho) com três amostragens; 3. águas baixas (agosto a novembro) com dezesseis amostragens; e 4. enchente (dezembro a janeiro) com três amostragens. Cinco locais foram amostrados no rio Jari (J1, J2, J3, J4 e J5) e seis nos tributários situados mais próximos da área do barramento (T1 e T2: Rio Iratapuru, T3: Rio Piunquara, T4, T5 e T6: Rio Traíra).

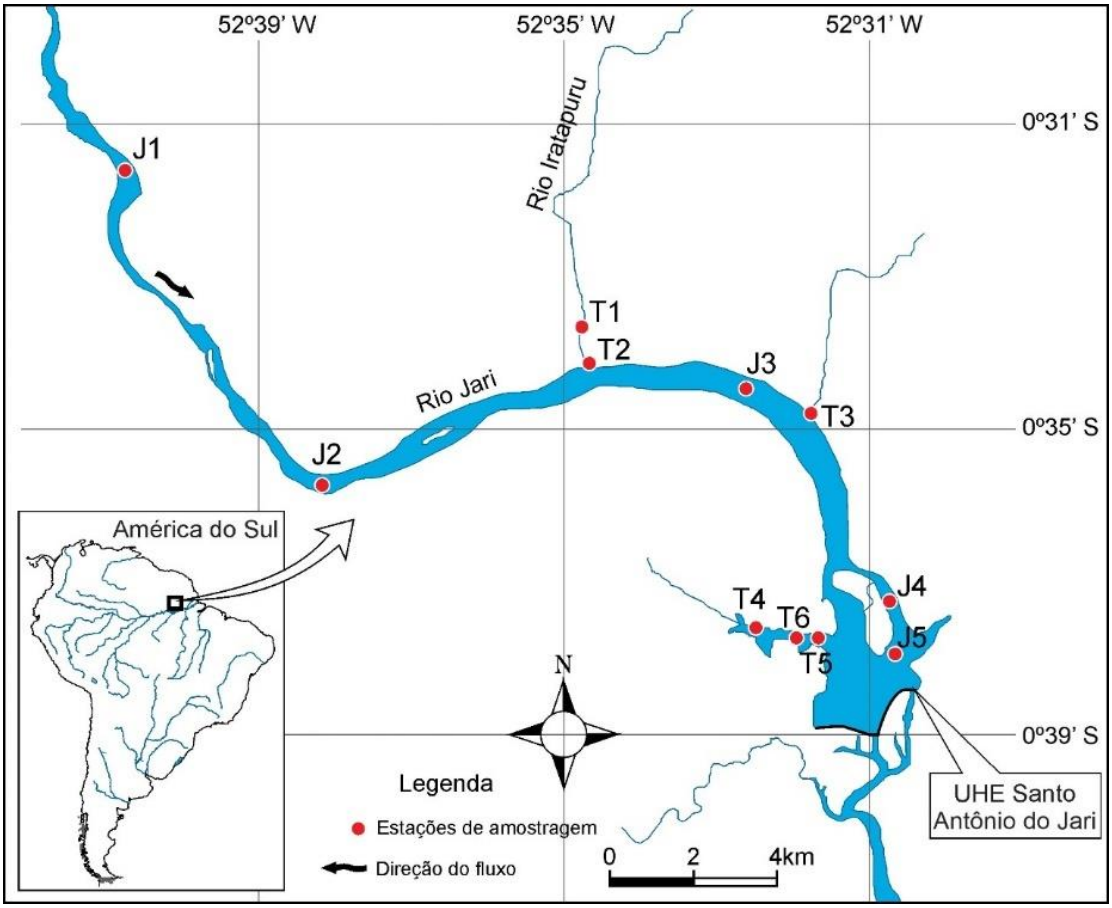


Figura 1. Localização das estações de amostragem (em vermelho) na área de influência da UHE Santo Antônio do Jari, no rio Jari (J) e tributários (T).

2.2 Amostragem

Foram realizadas 39 coletas. Antes do barramento foram realizadas 11 coletas trimestrais, de junho de 2011 a fevereiro de 2014 (N=111). Após o barramento foram realizadas coletas mensais de março de 2014 a maio de 2015, e trimestrais (junho de 2015 a março de 2019), totalizando 28 coletas (N=308). O número total foi de 419 amostras.

Amostras de água para análise do fitoplâncton e das concentrações de nutrientes totais e dissolvidos foram coletadas simultaneamente com frascos de 200 mL, na região limnética e até uma profundidade de 40 cm. As amostras de fitoplâncton foram fixadas, *in situ*, com solução de Lugol acético 1%. A densidade zooplanctônica (ind/m^3) foi utilizada como medida da

influência de fatores bióticos nos padrões de sincronia. As amostragens para essa comunidade foram realizadas em cada local, sendo filtrados 1.000 L de água através de rede de plâncton de 68 µm de abertura de malha (para mais detalhes ver Vieira et al., 2019).

Amostras de água foram coletadas para posterior determinação das concentrações de nutrientes totais e filtragem para determinação das formas dissolvidas. Foram obtidos os valores de temperatura da água (°C), pH, condutividade (µS cm^{-1}), turbidez (NTU) e oxigênio dissolvido (mg L^{-1}), com potenciômetros digitais portáteis, e demanda bioquímica de oxigênio (DBO; mg L^{-1}) a partir do consumo de oxigênio em amostras durante um período de incubação de cinco dias em temperatura constante de 20°C (APHA, 2012) As concentrações de nitrogênio total (µg L^{-1}), fósforo total (µg L^{-1}), ortofosfato (µg L^{-1}), nitrato (µg L^{-1}), nitrito (µg L^{-1}) e amônio (µg L^{-1}) foram obtidas em laboratório seguindo métodos padrões (MACKERETH; HERON; TALLING, 1978). O nitrogênio inorgânico dissolvido (NID - µg L^{-1}) foi obtido a partir da soma das concentrações de nitrito, nitrato e amônio. A transparência da água foi medida com disco de Secchi (Z_{eu} - m). A profundidade máxima (Z_{max} - m) foi mensurada em cada local e a profundidade da zona eufótica foi calculada multiplicando a profundidade do disco de Secchi (m) por 2,7 (COLE, 1994).

2.3 Análises no laboratório

A identificação dos táxons fitoplanctônicos foi feita até o menor nível taxonômico possível utilizando literatura especializada. A contagem dos indivíduos, i.e., células, colônias, cenóbios e filamentos, foi realizada em microscópio invertido, com aumento de 400x seguindo o método de sedimentação de Utermöhl (LUND; KIPLING; LE CREN, 1958; UTERMÖHL, 1958). O cálculo da densidade, em indivíduos por mililitro, foi realizado segundo APHA (2012).

No total foram identificados 337 táxons. A densidade total destes táxons foi considerada nas análises. Os táxons foram classificados em grupos funcionais de Reynolds – GFRs (KRUK et al., 2017; PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009; REYNOLDS et al., 2002). Foram registrados 25 GFRs. Porém, para evitar superestimativa nos valores de sincronia da comunidade devido a presença de grupos funcionais raros, i.e., baixa frequência (SILVA et al., 2021), foram selecionados para as análises, os 16 mais frequentes, i.e., aqueles que ocorreram em mais de 10% das amostras, considerando o período anterior e posterior ao barramento (Apêndice A – Ms.1). Para a comunidade zooplanctônica, a identificação ocorreu por meio de sub-amostras de 1,5 mL, em câmaras Sedgwick-Rafter (para mais detalhes ver Vieira et al.,

2019). A abundância foi expressa em ind. m^{-3} e os indivíduos foram enquadrados nos grupos: rotíferos, testáceos, copépodes e cladóceros.

2.4 Análise de dados

Todas as análises foram realizadas no programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021) e as figuras foram feitas utilizando o pacote `ggplot2` (WICKHAM, 2016). Esta sessão foi dividida nos seguintes tópicos: caracterização ambiental, sincronia da comunidade fitoplanctônica, sincronia ambiental, análise de mudança de ponto (*changepoint*) e determinantes da sincronia. No fim desta sessão é apresentado um resumo gráfico das análises executadas (Figura 2).

2.4.1 Caracterização ambiental

Para a representação gráfica da variação ambiental foi realizada uma Análise de Coordenadas Principais (PCoA), com uma matriz de distância euclidiana e com a função `cmdscale`. Para as análises da variação ambiental consideramos as seguintes variáveis: temperatura da água, pH, condutividade, profundidade máxima, zona eufótica, Z_{eu}:Z_{max}, ortofosfato, nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio total e fósforo total. As variáveis foram previamente padronizadas com a função `decostand`, método *"standardize"* do pacote `vegan` (OKSANEN et al., 2018).

2.4.2 Sincronia fitoplanctônica

A sincronia foi estimada entre todos os pontos para toda a comunidade e para cada um dos 16 grupos funcionais, utilizando dados de densidade. Foram estimados os coeficientes de correlação de Spearman entre os pares de locais para cada valor de densidade total e de cada grupo. As cinco coletas iniciais foram utilizadas para estimar o primeiro valor de sincronia. Posteriormente, foi adicionada uma coleta por vez até o final, para assim obter os valores de sincronia espacial ao longo do tempo. Dessa forma foi possível avaliar como os valores médios de sincronia espacial da densidade total e dos grupos responderam à construção do barramento. Os valores de sincronia variam de -1 a 1, indicando correlação negativa ou positiva, respectivamente (BUONACCORSI et al., 2001). Valores próximos a zero indicam ausência de sincronia, ou seja, as séries temporais da densidade (total ou de cada GFR) entre dois pares de locais não são correlacionadas. Utilizando todas as coletas, matrizes de correlação de Spearman ($\mathbf{S_{11x11}}$) também foram calculadas para a densidade total e para cada grupo funcional.

A sincronia média para a densidade total, e densidade de cada grupo funcional também foi calculada separadamente para os locais de coleta no rio e nos tributários. Para cada média, foi estimado um intervalo de confiança (95%) com o método de *bootstrap* (BJØRNSTAD; IMS; LAMBIN, 1999), utilizando a função `mSynch` do pacote `ncf` (BJORNSTAD; CAI, 2020), modificada para calcular correlações de Spearman usando o argumento "*pairwise complete observations*" para pares de correlações.

2.4.3 Sincronia ambiental

A sincronia ambiental foi calculada para rio e tributários juntos e de forma separada, considerando as 12 variáveis ambientais: condutividade, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio inorgânico dissolvido, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, ortofosfato, temperatura, fósforo total, turbidez, zona eufótica e razão zona eufótica:zona máxima. Assim como a sincronia da comunidade fitoplanctônica, a sincronia ambiental foi calculada para cada variável ambiental, a partir de uma matriz de correlações de Spearman entre os locais de amostragem. A sincronia média foi estimada utilizando um *n* inicial de cinco observações, posteriormente, foi adicionada cada coleta por vez para obter a série temporal da sincronia ambiental. Para cada média, foi estimado um intervalo de confiança (95%) com o método de *bootstrap* (BJØRNSTAD; IMS; LAMBIN, 1999), utilizando a função `mSynch` modificada do pacote `ncf` (BJORNSTAD; CAI, 2020).

2.4.4 Análise de mudança de ponto (changepoint)

Para verificar o efeito do barramento sobre a sincronia do ambiente, dos grupos e da densidade total, foi feita uma análise de mudança de ponto (*changepoint*) (KILLICK; ECKLEY, 2014). Esta análise buscou detectar a existência de pontos de mudança ao longo da série temporal de sincronia da comunidade e ambiental tanto para todo o sistema quanto para rio e tributários. Desta forma, se a mudança ocorrer a partir de março de 2014, quando ocorreu o barramento, então há indícios do efeito da formação do reservatório sobre o nível de sincronia. Essa análise foi calculada com a função `cpt.meanvar` do pacote `changepoint`, com a finalidade de identificar mudanças na média ou na variância da sincronia.

2.4.5 Determinantes da sincronia

Para avaliar quais os preditores da sincronia de toda a comunidade e dos grupos funcionais no rio Jari e tributários juntos, foram realizadas regressões matriciais múltiplas (LICHSTEIN, 2007) com a função `MRM` do pacote `ecodist` (GOSLEE; URBAN, 2007). Em cada modelo, a variável resposta foi a matriz de sincronia (**S**) de cada GFR ou da densidade

total (utilizando todos os meses de coleta). As matrizes preditoras foram a dissimilaridade ambiental (**E**) e a distância geográfica (**G**).

A matriz de distância ambiental (**E**) foi construída com a média das variáveis ambientais e bióticas (ao longo do tempo). Para essa matriz foram selecionadas somente as variáveis com influência direta sobre a comunidade fitoplanctônica, Z_{eu}, ortofosfato, DIN, rotíferos, cladóceros, copépodes e testáceos. A matriz de dados ambientais médios foi previamente padronizada (média zero e desvio padrão =1) com a função `decostand`, método *standardize* do pacote `vegan`. Posteriormente, foi calculada a distância euclidiana entre os locais de coleta utilizando a função `vegdist` do pacote `vegan`. A matriz de distância geográfica (**G**) foi calculada como a distância Euclidiana entre as coordenadas geográficas dos locais, i.e., latitude e longitude, utilizando a mesma função.

A relação entre a matriz de distância geográfica (**G**) e a matriz de distância ambiental (**E**) foi testada para verificar potenciais problemas de colinearidade e os resultados revelaram que essas matrizes foram independentes uma da outra.

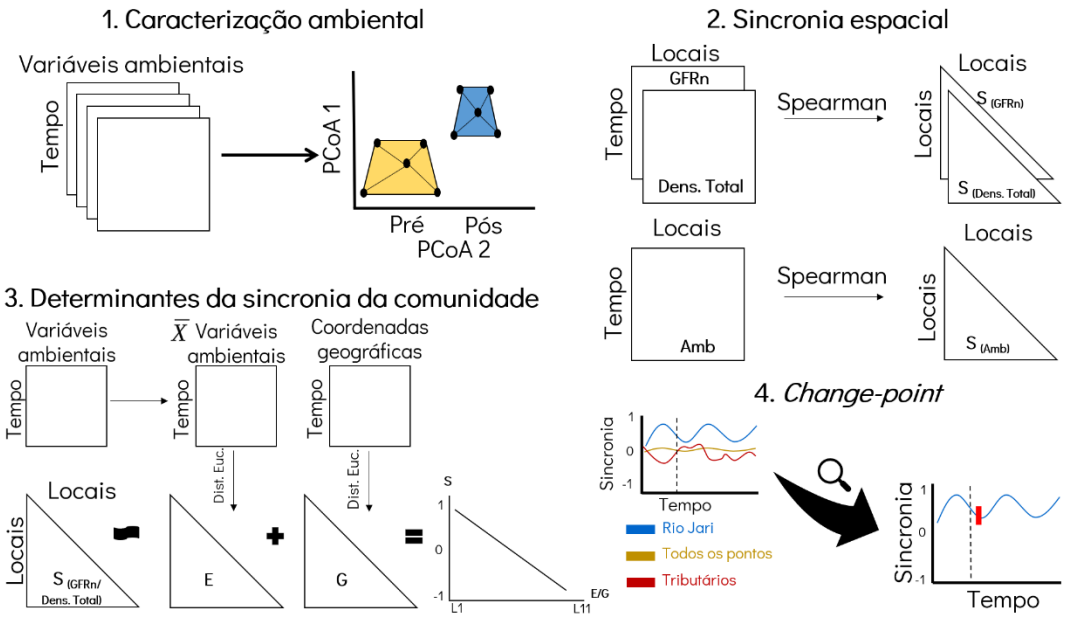


Figura 2. Etapas realizadas para a obtenção das matrizes e análises dos dados.

3 RESULTADOS

3.1 Caracterização e sincronia ambiental

Após o barramento, foi verificado aumento nos valores de DIN, DBO, temperatura e pH, e redução da disponibilidade de luz, profundidade, condutividade, turbidez, fósforo total e

ortofosfato. Os teores de nitrogênio total e oxigênio dissolvido foram maiores no rio Jari do que nos tributários (Tabela 1; Figura 3). A PCoA revelou que a heterogeneidade ambiental foi menor no período pós-barramento, mas as condições ambientais ainda foram distintas entre o rio Jari e os tributários (Figura 4).

Foi registrada maior sincronia ambiental (> 0,6) no rio Jari em todo o período de estudo principalmente para condutividade, DIN, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, temperatura e zona eufótica (Apêndice B – Figura 5). Após o barramento, foi registrada maior sincronia para a condutividade, DBO, DIN, nitrogênio total, oxigênio dissolvido, pH, fósforo total e turbidez nos tributários (Apêndice B – Figura 5). Considerando todos os locais de coleta, foi registrada maior sincronia para condutividade, DBO, DIN e ortofosfato (Apêndice B – Figura 5). Mudanças de ponto na média e variância da série temporal logo após a construção do barramento foram detectadas para a zona eufótica quando considerado a área total, somente rio e somente tributários, e para o nitrogênio inorgânico quando considerado somente o rio.

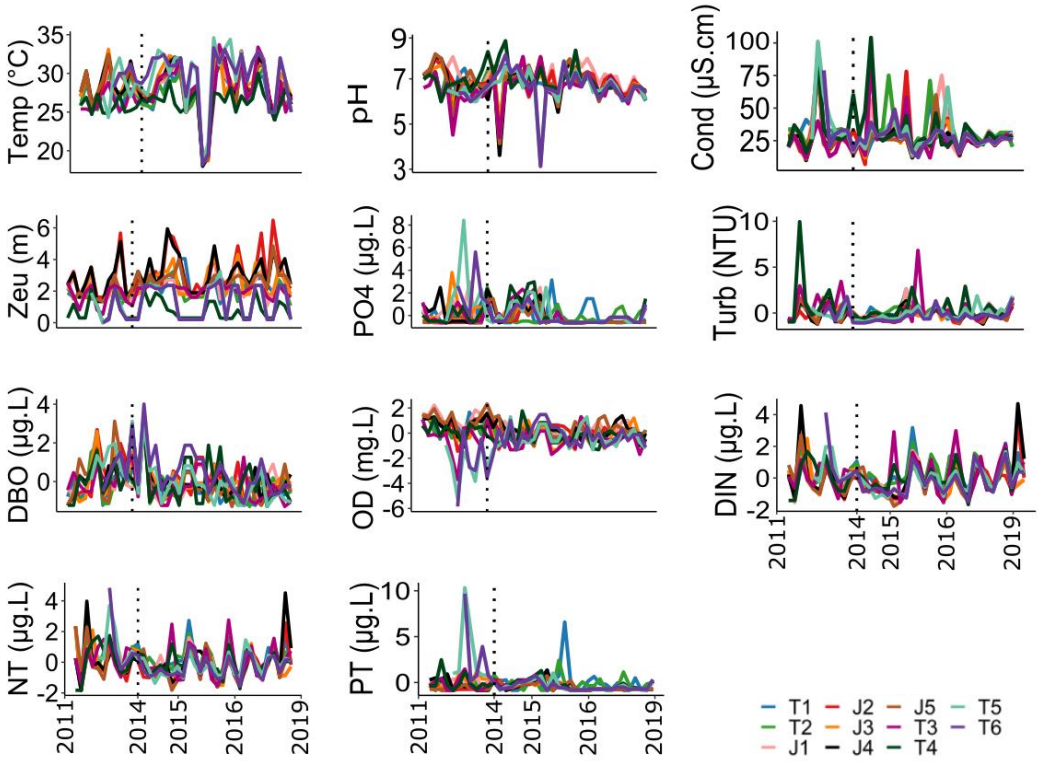


Figura 3. Variação temporal das variáveis abióticas nas estações de amostragem na área de influência da UHE Santo Antônio do Jari. Os valores estão padronizados para melhor visualização. linha pontilhada vertical indica a formação do reservatório (março de 2014). (Locais: J1 a J5 – rio Jari; T1 e T2: Rio Iratapuru, T3: Rio Piunquara, T4, T5 e T6: Rio Traíra). (Temp = temperatura da água; Cond = condutividade; Zeu = zona eufótica; PO4 = ortofosfato; Turb = turbidez; DBO = demanda bioquímica de oxigênio; OD = oxigênio dissolvido; DIN = nitrogênio inorgânico dissolvido; NT = nitrogênio total; PT = fósforo total).

Tabela 1. Valores médios e coeficiente de variação (CV) da temperatura da água (Temp. H_2O, ^oC), transparência da água (Transp.), pH, condutividade (Cond, $\mu S.cm^{-1}$), profundidade máxima (Prof., m), Z_{eu}:Z_{max}, zona eufótica (Z_{eu}, m), ortofosfato (PO_4, $\mu g\ L^{-1}$), nitrogênio inorgânico dissolvido (DIN, $\mu g\ L^{-1}$), demanda bioquímica de oxigênio (DBO, $\mu g\ L^{-1}$), oxigênio dissolvido (OD, $mg\ L^{-1}$), turbidez (Turb, NTU), nitrogênio total (NT, $\mu g\ L^{-1}$) e fósforo total (PT, $\mu g\ L^{-1}$), entre os períodos pré e pós barragem para os locais situados no eixo longitudinal (no rio Jari) e lateral (tributários) do reservatório da UHE Santo Antônio do Jari.

	Pré-barramento				**Pós-barramento**			
	Rio Jari		**Tributários**		**Rio Jari**		**Tributários**	
Variáveis	**Média**	**CV**	**Média**	**CV**	**Média**	**CV**	**Média**	**CV**
Temp	28.6	6.6	27.2	7	28	12	28	12.6
Transp	0.9	42.7	1	146	1.1	34.4	0.9	49.2
pH	7	8.9	6.6	7.8	6.8	10	6.7	10.4
Cond	29.8	62.5	34.8	53.2	26.9	42.8	29.2	42.3
Prof	7.1	59.8	2.8	84.7	6.6	54.1	2.5	80.1
Z_{eu}:Z_{max}	0.5	64.9	0.6	51.6	0.6	51.4	0.8	29.2
Z_{eu}	2.3	44.3	1.4	58.4	2.8	35.9	1.7	58.2
PO_4	3.9	134.2	14	273.2	4.5	95.2	5	106.3
DIN	810.3	61.1	885.5	49.3	696.4	62.1	811.3	51.7
DBO	1.7	70.6	1.7	60.8	1.4	74	1.4	84.7
OD	7.3	10.9	6	28.4	6.6	11.9	6.3	13.9
Turb	10.3	68.7	14.1	87.1	8.3	60.2	10	68.7
NT	1012.9	57.8	1088.7	52.8	761.6	58.9	853.8	46.3
PT	15.6	133.8	27.9	145.1	8.4	100.5	10.3	96

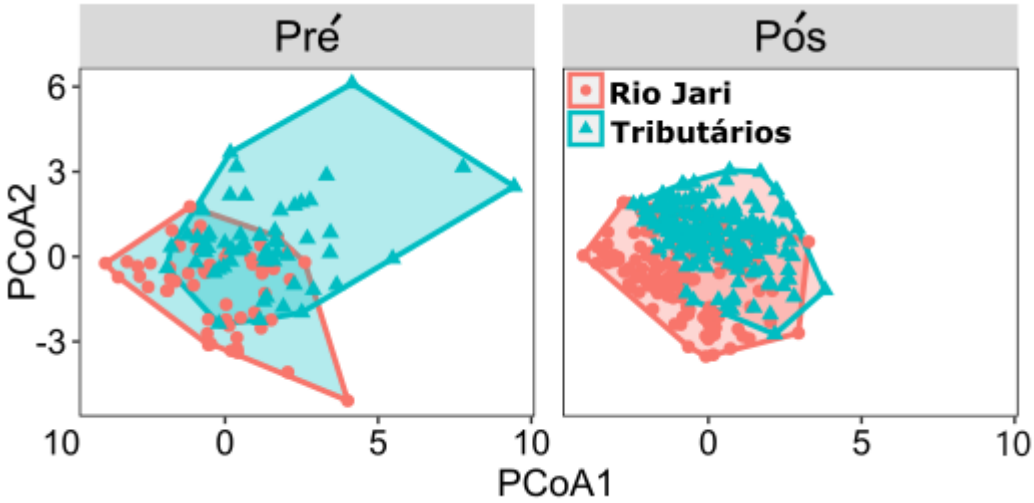


Figura 4. Ordenação resultante da Análise de Coordenadas Principais (PCoA) aplicada sobre as variáveis ambientais (temperatura da água, pH, condutividade, profundidade máxima, Zeu:Zmax, zona eufótica, ortofosfato, nitrogênio inorgânico dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio total e fósforo total) medidas durante 39 amostragens (entre junho de 2011 e março de 2019), conduzidas em cinco pontos de coleta no rio Jari e em seis tributários, bacia do rio Amazonas, Brasil.

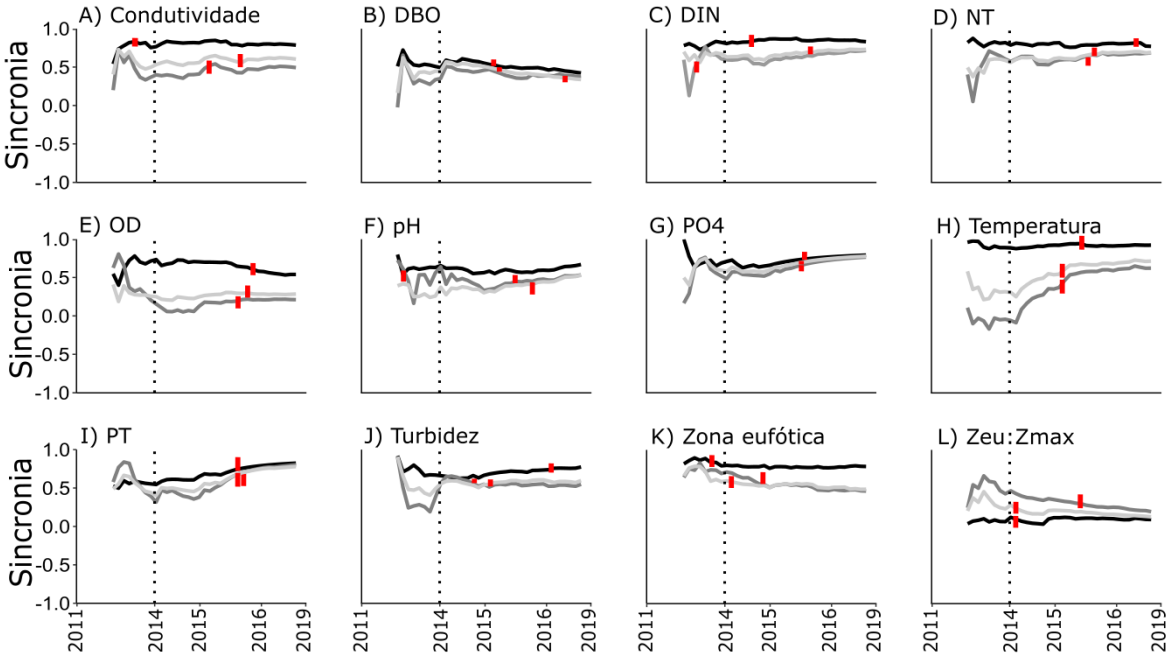


Figura 5. Variação da sincronia ambiental, antes e após o barramento no Rio Jari (linha preta), tributários (linha cinza escuro) e quando considerados todos os locais juntos (linha cinza claro). A linha pontilhada vertical indica o fim da construção do reservatório (março de 2014) e as linhas verticais vermelhas indicam a mudança de ponto na série temporal (*changepoint*). PO4 = ortofosfato; DBO = demanda bioquímica de oxigênio; OD = oxigênio dissolvido; DIN = nitrogênio inorgânico dissolvido; NT = nitrogênio total; PT = fósforo total.

3.2 Comunidade fitoplanctônica e Sincronia

Após o barramento, os valores de densidade de toda a comunidade e de cada grupo funcional foram maiores para rio e tributários. Para o rio Jari, houve aumento dos valores de densidade principalmente para as algas verdes cenobiais do grupo J, para as cianobactérias filamentosas homocitadas do grupo S1 e fitoflagelados do grupo X2. Para os tributários, os fitoflagelados dos grupos E, LO, W1 e W2, as algas verdes dos grupos N, F, J tiveram aumento nos valores de densidade (Figura 6 e 7).

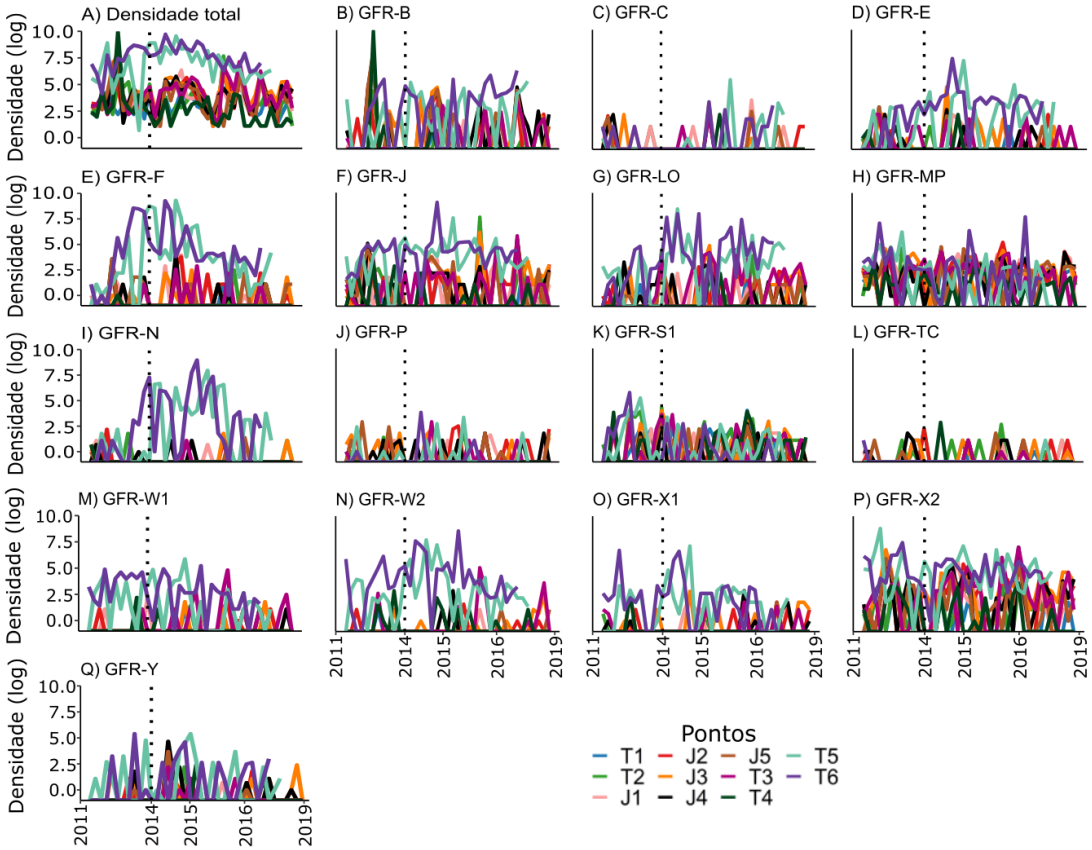


Figura 6. Densidade (log) total e dos grupos funcionais ao longo da série temporal no rio Jari. A linha pontilhada vertical indica o fim da construção do reservatório (março de 2014). (Locais: J1 a J5 – rio Jari; T1 e T2: Rio Iratapuru, T3: Rio Piunquara, T4, T5 e T6: Rio Traíra).

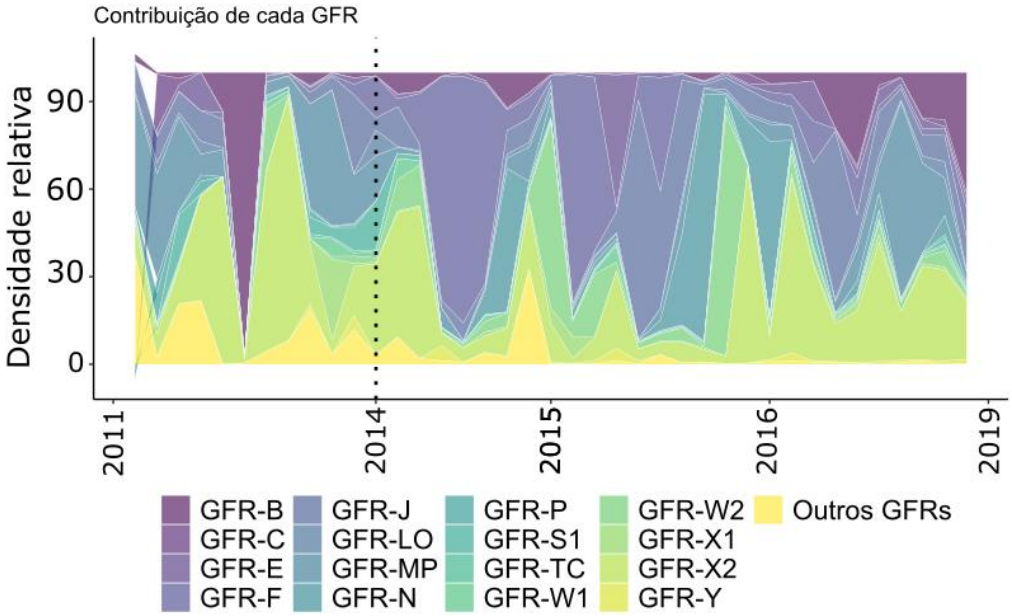


Figura 7. Contribuição relativa dos grupos funcionais para a densidade total. Outros GFRs = grupos funcionais – soma da densidade dos grupos A, G, H1, K, M, Q, S2, T, TB. A linha pontilhada indica o fim da construção do reservatório em março de 2014.

Alta sincronia foi verificada quando analisados rio e tributários de forma separada, sendo maior para o rio Jari (>0.6). Foram registrados menores valores de sincronia em todo o período de estudo quando considerado somente tributários e todos os locais. Após o barramento, os valores foram maiores para a densidade total do que para a maioria dos grupos funcionais, considerando todos os locais (Apêndice C e D - Figura 8). Os valores de sincronia dos grupos funcionais e densidade total exibiram menor variação temporal após o barramento para rio, tributários e para o total dos locais (Apêndice C e D).

No rio Jari, maior sincronia foi encontrada para a densidade total e para os GFR B, F, J e X2. Em contrapartida, assincronia (valores próximos a zero e negativos) foi registrada para os GFR-LO, W1, W2, X1 e Y (Apêndice C e D – Figura 8). Por fim, para os tributários, maior sincronia foi registrada para os GFR-B, F, S1, W2 e Y, principalmente antes da construção do reservatório, sendo possível observar declínio desses valores no período pós-barramento (Apêndice C e D).

A análise de pontos de mudança detectou pelo menos um ponto de mudança na média e variância da sincronia para todos os grupos e em todo o sistema, rio e tributários. A maioria das mudanças foi observada após a construção do reservatório (março de 2014), para a densidade total e para os grupos funcionais representados por diatomáceas (B, C, MP, P), por

fitoflagelados (E, LO e W1) e algas verdes coloniais (F) e cenobiais (J), principalmente quando considerado somente rio Jari e somente tributários (Apêndice C e D – Figura 8).

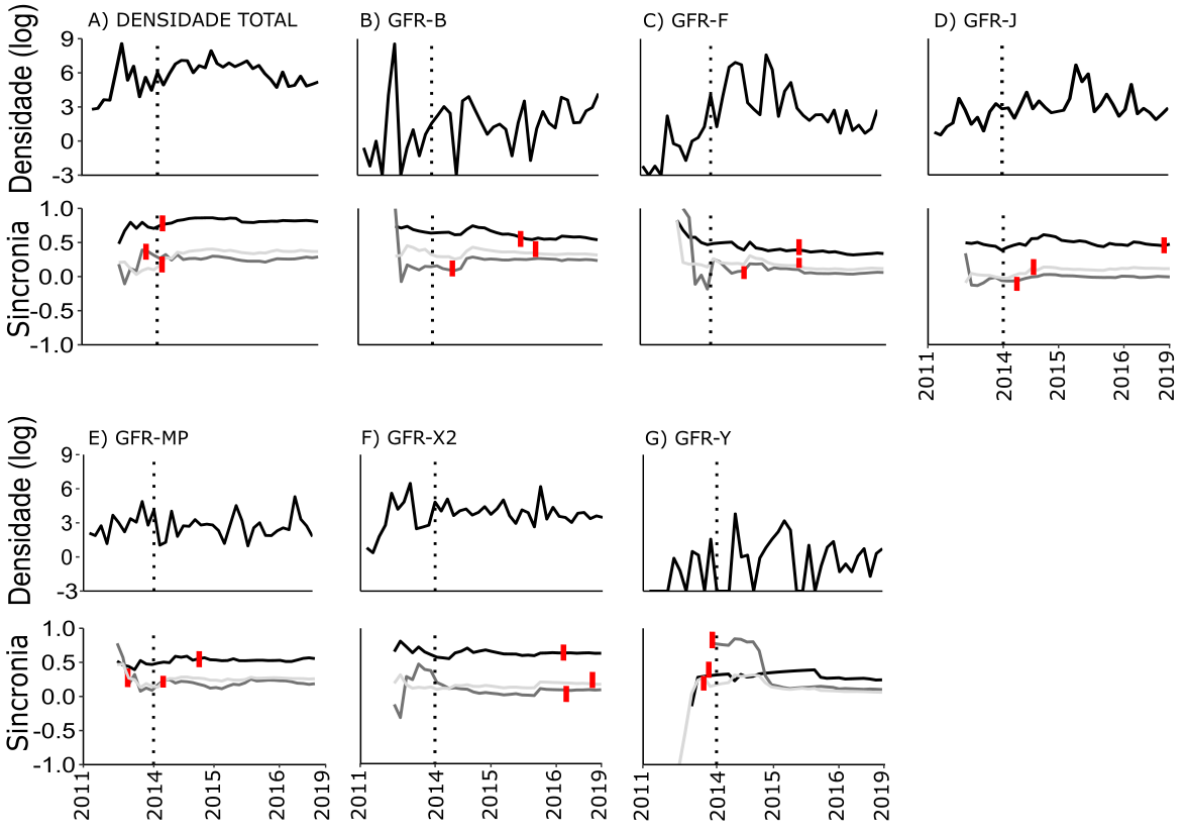


Figura 8. Variação temporal da densidade média e sincronia da comunidade total (A) e dos grupos funcionais B (B), F (C), J (D), MP (E), X2 (F) e Y (G) antes e após o barramento para o Rio Jari (linha preta), tributários (linha cinza escuro) e quando considerados todos os locais juntos (linha cinza claro). A linha pontilhada vertical indica o fim da construção do reservatório (março de 2014) e as linhas verticais vermelhas indicam a mudança de ponto na série temporal (*changepoint*). São mostrados apenas os resultados significativos da regressão preditora de sincronia espacial.

3.3 Determinantes da sincronia da comunidade fitoplanctônica

A distância ambiental foi negativamente correlacionada com a matriz de sincronia da densidade total e dos grupos funcionais B, F, J, LO, X2, Y, ou seja, locais mais diferentes ambientalmente foram menos sincrônicos entre si. Para os demais grupos, as relações não foram significativas. A distância geográfica foi negativamente correlacionada somente com a matriz de sincronia do GFR-F (Apêndice E – Figura 9). A distância geográfica (**G**) e distância ambiental (**E**) não foram relacionadas significativamente (R^2 = 0.001, p = 0.889).

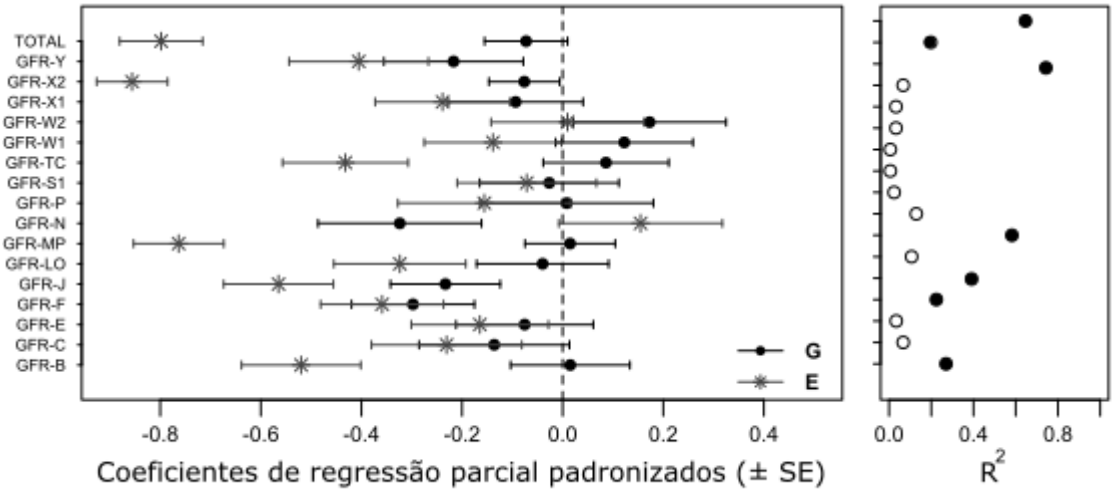


Figura 9. Coeficientes parciais padronizados (± erro padrão) de modelos de regressão matricial entre sincronia (S) e as matrizes explanatórias (**E** - distância ambiental; **G -** distância geográfica) para a densidade total e cada grupo funcional. Do lado direito os coeficientes R^2 de cada modelo, onde os círculos preenchidos indicam modelos significativos ($p < 0,05$). A padronização dos coeficientes foi obtida com a função `lm.beta` do pacote `lm.beta`.

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostraram que os efeitos do barramento sobre a sincronia dependeram da região do reservatório considerada. Altos valores de sincronia foram obtidos apenas para o rio Jari, principalmente após o barramento, onde a manutenção da alta velocidade de fluxo homogeneizou os locais. Embora a heterogeneidade ambiental tenha diminuído após o barramento, as diferenças ambientais entre rio e tributários se mantiveram, e os tributários se tornaram mais diferentes entre eles. Isso pode explicar a baixa sincronia ambiental e dos grupos fitoplanctônicos quando considerados os tributários e a área total. Por fim, a dissimilaridade ambiental foi o preditor mais importante para a sincronia.

4.1 Condições ambientais

A heterogeneidade ambiental, i.e., variabilidade nas condições ambientais representada principalmente pelas variáveis limnológicas, diminuiu após a construção do barramento, fato comum em outros estudos com reservatórios (AGOSTINHO; THOMAZ; GOMES, 2004; BRAGHIN et al., 2018; STRASKRABA; TUNDISI; DUNCAN, 1993). Porém, mesmo que as condições ambientais sejam menos heterogêneas após o barramento, as diferenças entre o rio Jari e os tributários ainda persistiram. Essas diferenças podem ocorrer devido a formação de zonas de remanso na região de confluência de cada tributário com o canal principal, devido ao aumento do nível de água no rio Jari, como observado em outros rios da Amazônia (ALMEIDA

et al., 2019). Essa heterogeneidade faz com que, em cada tipo de ambiente, sejam favorecidas diferentes espécies e grupos funcionais, devido ao efeito de fatores locais que selecionam as espécies, e.g. filtragem ambiental (CORNWELL; SCHWILK; ACKERLY, 2006).

As dinâmicas ambientais dos tributários diferiram daquelas observadas no rio Jari e estas diferenças podem explicar, em geral, os baixos valores de sincronia da densidade total e dos grupos funcionais antes e após o barramento. Os altos valores de sincronia ambiental durante todo o período de estudo sugerem que fatores regionais como o clima ou a regulação do nível de água, controlam a dinâmica do reservatório. Essa interpretação é reforçada pelo fato de que a maioria das variáveis ambientais no rio Jari não tiveram suas dinâmicas alteradas em todo o período de estudo, ou seja, foram síncronas independente do período.

4.2 Comunidade fitoplanctônica e Sincronia

As mudanças observadas na sincronia após o barramento dependeram da região do reservatório considerada. No geral, os valores de sincronia foram mais baixos entre os tributários e mais altos no corpo principal do reservatório. Quando considerado o total da área de estudo (rio + tributários), a sincronia foi maior. Assim, é provável que a menor sincronia dos tributários e sua heterogeneidade tenham sido responsáveis pela baixa sincronia do total da área de estudo. Isso pode ter acontecido porque a dissimilaridade ambiental aumentou entre os tributários após o barramento e as diferenças ambientais do rio diminuíram no mesmo período. Como mostrado nos resultados, as diferenças ambientais entre o rio Jari e os tributários, em cada caso afetaram as dinâmicas dos grupos funcionais de maneira diferenciada. De fato, a falta de sincronia é sinal de que a comunidade responde de forma particular às variações ambientais (LOREAU; DE MAZANCOURT, 2013). Dessa forma, pode ser uma característica de reservatório a fio de água, que possuem baixo tempo de residência da água.

Os baixos valores da sincronia nos tributários podem ser explicados pelas diferenças ambientais que estes apresentam, fazendo com que a dinâmica da densidade fitoplanctônica em cada um deles seja diferente (Apêndice D). Estes resultados sugerem que efeitos locais, como a heterogeneidade do habitat e a dinâmica ambiental são mais importantes para controlar a comunidade do que características regionais e geográficas (LIEBHOLD; KOENIG; BJØRNSTAD, 2004; VIEIRA et al., 2019). Assim como neste trabalho, foram encontrados resultados similares de baixa sincronia para fitoplâncton (SILVA et al., 2021; ZANON et al., 2019) e em outras comunidades como peixes (GRANZOTTI; AGOSTINHO; BINI, 2022) e zooplâncton (VIEIRA et al., 2019).

Altos valores de sincronia podem indicar predominância de fatores extrínsecos regionais, i.e. efeito Moran e alta dispersão (RUSAK et al., 1999; ZANON et al., 2019). Dessa forma, a alta sincronia no rio Jari para a densidade total e para os GFR-B, F, J e X2 evidenciou a presença do efeito Moran (MORAN, 1953), sendo a construção do reservatório o fator regional (LIEBHOLD; KOENIG; BJØRNSTAD, 2004; VIEIRA et al., 2019) responsável por essa sincronização. Isso sugere que após a formação do reservatório, as condições hidrológicas do rio Jari se tornaram mais favoráveis para flutuações similares em diferentes locais.

Sendo assim, a alta sincronia desses grupos pode indicar que as espécies representantes desses grupos foram generalistas e resistentes ante as novas condições ambientais promovidas pela construção do barramento, uma vez que os organismos responderam de maneira similar as alterações ambientais. Resultados como este evidenciando o efeito Moran sobre populações planctônicas foram encontrados em outros trabalhos (LODI et al., 2014; RUSAK; YAN; SOMERS, 2008). Adicionalmente, este trabalho mostra que um reservatório de tipo fio de água pode promover esse efeito, pelo menos no canal principal e para a área de estudo analisada. A maior sincronia dos GFRs no rio Jari também pode ter sido favorecida por alta capacidade de dispersão passiva, ou seja, devido ao fluxo lótico contínuo os organismos conseguem se dispersar entre todos os locais do rio Jari.

A análise de *changepoint* revelou pontos de mudança ao longo da série temporal de sincronia, sendo que, na maioria dos casos, as mudanças ocorreram logo após o barramento, i.e., no ano da construção em 2014. Apesar de não existir um padrão evidente, pode-se considerar que a formação do reservatório de Santo Antônio do Jari influenciou os valores da sincronia da comunidade fitoplanctônica para alguns grupos.

O período hidrológico é uma variável importante para a sincronia da comunidade, visto que períodos de águas altas podem aumentar a conectividade ambiental, homogeneizar as condições ambientais e favorecer a dispersão de organismos (THOMAZ; BINI; BOZELLI, 2007). No entanto, os resultados da análise de mudança de ponto sugerem que a sincronia não teve relação com o período hidrológico, visto que apenas um ponto de mudança foi identificado ao longo de toda a série temporal. Se o período hidrológico tivesse relação com a sincronia, seriam esperados múltiplos pontos de mudança associados com os períodos de águas altas e baixas. É provável que o aumentou do nível de água decorrente do barramento, afetou a sazonalidade relacionada ao período hidrológico, e diminuiu a amplitude de variação entre os períodos de águas altas e águas baixas.

4.3 Fatores determinantes da sincronia da comunidade

A alta sincronia verificada para a maioria das variáveis ambientais considerando os locais do rio Jari pode estar relacionada a processos regionais, e provavelmente influenciaram a alta sincronia registrada para a densidade total e para alguns grupos funcionais. Quando considerado a área total (rio + tributários), a sincronia ambiental e dos grupos apresentaram comportamentos semelhantes. Dessa forma, é possível que a sincronia ambiental tenha promovido a sincronia da comunidade fitoplanctônica. Por exemplo, foi verificada maior sincronia de fatores importantes para o desenvolvimento fitoplanctônico, como a disponibilidade de nutrientes (DIN e PO_4) e de luz (REYNOLDS et al., 2002), que poderiam explicar a sincronia da densidade de alguns dos grupos e da densidade total da comunidade.

Considerando as matrizes de distância com todos os locais, foi evidenciado um efeito negativo da distância ambiental sobre a sincronia, ou seja, locais mais similares ambientalmente apresentaram maior sincronia. Esse efeito foi observado para a densidade total e para diatomáceas unicelulares ou filamentosas planctônicas (GFR-B), algas verdes mucilaginosas (GFR-F), algas verdes unicelulares ou cenobiais (GFR-J), diatomáceas unicelulares (GFR-MP) e fitoflagelados unicelulares (GFR-X2 e GFR-Y). Este resultado demonstra que locais ambientalmente similares (independentemente da distância geográfica) são mais sincronizados, e evidencia maior importância de dinâmicas locais, e.g. filtragem ambiental, do que regionais (efeito Moran) sobre a abundância das comunidades.

A distância geográfica foi determinante da sincronia apenas para algas verdes mucilaginosas (GFR-F). Neste caso, quanto mais distante espacialmente os locais, menor a sincronia. Apesar deste resultado significativo com a distância geográfica, a distância ambiental foi mais importante para este grupo, assim como para os outros. A ausência de relação entre sincronia populacional e distância geográfica foi relatada em outros trabalhos (VIEIRA et al., 2019; ZANON; RODRIGUES; BINI, 2018). Uma justificativa para a ausência de relação com outros grupos funcionais se deve ao fato, neste caso, da dispersão passiva não ser considerada um fator limitante, uma vez que todos os 16 grupos funcionais considerados ocorrem em todos os lugares. Ainda, a área de estudo pode não ser o suficientemente grande (28 km^2) para apresentar uma limitação na dispersão das espécies fitoplanctônicas. Outra justificativa é que os locais não são muito distantes uns dos outros (< 10 km), uma vez que geralmente padrões de sincronia são encontrados em distâncias maiores que 100 km (DEFRIEZ et al., 2016; VIEIRA et al., 2019).

No caso do fitoplâncton, é esperado maior efeito do ambiente e não da distância geográfica pois são organismos com pouca limitação de dispersão passiva e são principalmente influenciados pelas condições ambientais (REYNOLDS et al., 2002). Os grupos que não apresentaram correlações com as matrizes de distância geográfica e ou ambiental, apresentaram baixa densidade e baixa sincronia. Dessa forma, é provável que, para esses grupos, processos locais, e.g. disponibilidade de luz e concentração de nutrientes, tenham influenciado sua dinâmica populacional (CAVANAUGH et al., 2013; LANSAC-TÔHA et al., 2008; ZANON et al., 2019).

Uma consequência dos barramentos, em regiões à montante, é o aumento no tempo de residência de água e a diminuição da velocidade de fluxo. O aumento do nível também pode aumentar o tempo de residência da água e assim pode elevar a importância de processos locais, e.g. interações ecológicas, predação, filtragem ambiental (MARGALEF, 1978) tanto para a distribuição (KOENIG, 1999; RODRIGUES et al., 2018) quanto para os padrões de sincronia de espécies planctônicas (LOPES et al., 2018; SILVA et al., 2021; ZANON et al., 2019), pois permite que organismos com maior capacidade competitiva tenham maior sucesso no ambiente (HEINO et al., 2015). De fato, se torna difícil estabelecer uma relação entre os padrões de distribuição das espécies e a variação ambiental (MARGALEF, 1978; NABOUT et al., 2009; THORP, 2010), uma vez que as comunidades planctônicas são influenciadas fortemente por dispersão aleatória de indivíduos (NASELLI-FLORES; PADISÁK, 2016).

Por fim, as distintas espécies em cada grupo funcional podem estar presentes devido a efeitos estocásticos, como dispersão e deriva ecológica (BORTOLINI et al., 2017; PINEDA; BORTOLINI; RODRIGUES, 2022), ou ainda, estarem correlacionadas com variáveis importantes para a distribuição do fitoplâncton e que não foram consideradas nesse estudo, tais como velocidade de fluxo, e interações interespecíficas (MORESCO et al., 2017).

5 CONCLUSÃO

Apesar de não terem sido encontrados padrões evidentes de que a construção do reservatório impactou os valores de sincronia na série temporal, para quatro variáveis ambientais, densidade total de fitoplâncton e nove grupos funcionais, a mudança de ponto na série temporal ocorreu logo após o barramento, indicando uma provável influência da barragem nos valores de sincronia. O principal mecanismo atuante por trás da sincronia da comunidade em todos os locais e nos tributários parecem ter sido os efeitos locais e a distância ambiental. A sincronia da densidade total e de cada grupo reagiu de forma diferente às mudanças

instauradas pelo barramento, principalmente entre o rio Jari e seus tributários, o que mostra a necessidade de investigar o efeito dos distúrbios ambientais em diferentes atributos das comunidades e do ambiente. A evidência do efeito Moran e de efeitos regionais atuantes no rio Jari deixa clara a importância de considerar a sincronia ambiental em estudos de sincronia da comunidade, sendo essa uma das principais causas da sincronia da comunidade fitoplanctônica no rio Jari. Foi evidenciada a importância do estudo da sincronia em reservatórios fio d'água, uma vez que esse tipo de barragem pode favorecer a sincronia de alguns grupos, esses que, dependendo das características ambientais, podem ser nocivos para o ambiente, como o caso das cianobactérias. Também é importante entender a dinâmica da sincronia nas diferentes regiões formadas a partir da construção de reservatórios, sendo utilizada como mecanismo para entender os fatores locais e regionais regentes sobre a comunidade, principalmente a fitoplanctônica, produtora primária, em biomas mundialmente importantes como a Amazônia. Ainda, estudos como esse podem servir de subsídio para monitoramento ambiental, afim de prever possíveis extinções regionais de espécies em casos de alta sincronia, e determinar a necessidade de monitoramento de vários ou poucos locais (em caso de baixa ou alta sincronia, respectivamente), para entender a dinâmica populacional dos grupos na área de estudo.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, A. A.; THOMAZ, S. M.; GOMES, L. C. L. C. The upper Paraná River and its floodplain: main characteristics and perspectives for management and conservation. In: THOMAZ, S. M.; AGOSTINHO, A. .; HANH, N. S. (Eds.). . **The upper Paraná river and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation**. Leiden: Backhuys Pubblishers, 2004. p. 394.

ALMEIDA, R. M. et al. Limnological effects of a large Amazonian run-of-river dam on the main river and drowned tributary valleys. **Scientific Reports**, v. 9, n. 16846, 2019.

APHA; APHA/AWWA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. From Duplicate 2 (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater - APHA)Pessoal essa é a versão mais atualizada do APHA. Eu acho que podemos usar essa. 2012, p. 1360.

BJORNSTAD, O. N.; CAI, J. **Package "ncf": Spatial Covariance Functions.** [s.l: s.n.].

BJØRNSTAD, O. N.; IMS, R. A.; LAMBIN, X. Spatial population dynamics : analyzing

patterns and processes of. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 14, n. 11, p. 427–432, 1999.

BORTOLINI, J. C. et al. Environmental and spatial processes influencing phytoplankton biomass along a reservoirs-river-floodplain lakes gradient: A metacommunity approach. **Freshwater Biology**, v. 62, n. 10, p. 1756–1767, out. 2017.

BOZELLI, R. L. et al. Floods decrease zooplankton beta diversity and environmental heterogeneity in an Amazonian floodplain system. **Hydrobiologia**, v. 753, n. 1, p. 233–241, 2015.

BRAGHIN, L. DE S. M. et al. Effects of dams decrease zooplankton functional β -diversity in river-associated lakes. **Freshwater Biology**, n. March, p. 1–10, 2018.

BUONACCORSI, J. P. et al. Measuring and testing for spatial synchrony. **Ecology**, v. 82, n. 6, p. 1668–1679, 2001.

CAVANAUGH, K. C. et al. Synchrony in dynamics of giant kelp forests is driven by both local recruitment and regional environmental controls. **Ecology**, v. 94, n. 2, p. 499–509, 2013.

COLE, A. G. **Textbook of Limnology**. 4th Ed. ed. Illinois: Waveland Press, Inc. Prospect Heights, 1994.

CORNWELL, W. K.; SCHWILK, D. W.; ACKERLY, D. D. A trait-based test for habitat filtering: convex hull volume. **Ecology**, v. 87, n. 6, p. 1465–1471, 2006.

DEFRIEZ, E. J. et al. Climate change-related regime shifts have altered spatial synchrony of plankton dynamics in the North Sea. **Global Change Biology**, v. 22, n. 6, p. 2069–2080, 2016.

GOSLEE, S. C.; URBAN, D. L. The ecodist package for dissimilarity-based analysis of ecological data. **Journal of Statistical Software**, v. 22, n. 7, p. 1–19, 2007.

GRANZOTTI, R. V.; AGOSTINHO, A. A.; BINI, L. M. Drivers and spatial patterns of population synchrony of fish species in a floodplain. **Freshwater Biology**, 2022.

HANSEN, B. B. et al. The Moran effect revisited: spatial population synchrony under global warming. **Ecography**, v. 43, p. 1–12, 2020.

HEINO, J. et al. Metacommunity organisation, spatial extent and dispersal in aquatic systems: patterns, processes and prospects. **Freshwater Biology**, v. 60, n. 5, p. 845–869, 2015.

HEINO, M. et al. Synchronous dynamics and rates of extinction in spatially structured populations. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 264, n. 1381, p. 481–486, 1997.

KILLICK, R.; ECKLEY, I. A. changepoint: An R Package for Changepoint Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 58, n. 3, 2014.

KOENIG, W. D. Spatial autocorrelation of ecological phenomena. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 14, n. 1, p. 22–26, 1999.

KOENIG, W. D. Global patterns of environmental synchrony and the Moran effect. **Ecography**, v. 25, n. 3, p. 283–288, 2002.

KRUK, C. et al. Classification of Reynolds phytoplankton functional groups using individual traits and machine learning techniques. **Freshwater Biology**, v. 62, n. 10, p. 1681–1692, 2017.

LANSAC-TÔHA, F. A. et al. Temporal coherence of zooplankton abundance in a tropical reservoir. **Hydrobiologia**, v. 614, n. 1, p. 387–399, 2008.

LICHSTEIN, J. W. Multiple regression on distance matrices: A multivariate spatial analysis tool. **Plant Ecology**, v. 188, n. 2, p. 117–131, fev. 2007.

LIEBHOLD, A.; KOENIG, W. D.; BJØRNSTAD, O. N. Spatial synchrony in population dynamics. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 467–490, 2004.

LODI, S. et al. Patterns of zooplankton population synchrony in a tropical reservoir. **Journal of Plankton Research**, v. 36, n. 4, p. 966–977, 2014.

LOPES, V. G. et al. Environmental distances are more important than geographic distances when predicting spatial synchrony of zooplankton populations in a tropical reservoir. **Freshwater Biology**, v. 63, n. 12, p. 1592–1601, 2018.

LOREAU, M.; DE MAZANCOURT, C. Species synchrony and its drivers: Neutral and nonneutral community dynamics in fluctuating environments. **American Naturalist**, v. 172, n. 2, p. 48–66, 2008.

LOREAU, M.; DE MAZANCOURT, C. Biodiversity and ecosystem stability: A synthesis of underlying mechanisms. **Ecology Letters**, v. 16, n. SUPPL.1, p. 106–115, 2013.

LUND, J.; KIPLING, C.; LE CREN, E. The inverted microscope method of estimating algal

numbers and the statistical basis of estimations by counting. **Hydrobiologia**, v. 11, n. 1, p. 143–170, 1958.

MACKERETH, F. Y. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. **Water analysis: some revised methods for limnologists**. [s.l: s.n.]. v. 36

MARGALEF, R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. **Oceanologica Acta**, v. 1, n. 4, p. 493–509, 1978.

MORAN, B. P. A. P. The Statistical Analysis of the Canadian Lynx Cycle .2. Synchronization and Meteorology. **Australian Journal of Zoology**, n. 1, p. 291–298, 1953.

MORESCO, G. A. et al. Drivers of phytoplankton richness and diversity components in Neotropical floodplain lakes, from small to large spatial scales. **Hydrobiologia**, v. 799, n. 1, p. 203–215, 2017.

NABOUT, J. C. et al. No evidence for environmental and spatial processes in structuring phytoplankton communities. **Acta Oecologica**, v. 35, n. 5, p. 720–726, set. 2009.

NASELLI-FLORES, L.; PADISÁK, J. Blowing in the wind: how many roads can a phytoplanktont walk down? A synthesis on phytoplankton biogeography and spatial processes. **Hydrobiologia**, v. 764, p. 303–313, 2016.

OKSANEN, J. et al. **Vegan: Community Ecology Package**, 2018.

PADISÁK, J.; CROSSETTI, L. O.; NASELLI-FLORES, L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. **Hydrobiologia**, v. 621, n. 1, p. 1–19, nov. 2009.

PINEDA, A.; BORTOLINI, J. C.; RODRIGUES, L. C. Effects of space and environment on phytoplankton distribution in subtropical reservoirs depend on functional features of the species. **Aquatic Sciences**, v. 84, n. 5, 2022.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing**Viena, Austria, 2021. Disponível em: <R-project.org/>

REYNOLDS, C. S. et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton. **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 5, p. 417–428, 2002.

REZENDE, F. et al. Trophic downgrading decreases species asynchrony and community stability regardless of climate warming. **Ecology Letters**, v. 24, p. 2660–2673, 2021.

RODRIGUES, L. C. et al. Use of phytoplankton functional groups as a model of spatial and temporal patterns in reservoirs: a case study in a reservoir of central Brazil. **Hydrobiologia**, v. 805, n. 1, p. 147–161, 2018.

RUSAK, J. A. et al. The temporal coherence of zooplankton population abundances in neighboring north-temperate lakes. **American Naturalist**, v. 153, n. 1, p. 46–58, 1999.

RUSAK, J. A.; YAN, N. D.; SOMERS, K. M. Regional climatic drivers of synchronous zooplankton dynamics in north-temperate lakes. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 65, n. 5, p. 878–889, 2008.

SILVA, M. N. et al. Niche measures and growth rate do not predict interspecific variation in spatial synchrony of phytoplankton. **Limnology**, v. 22, p. 121–127, 2021.

STRASKRABA, M. Retention time as a key variable of reservoir limnology. In: TUNDISI, M. T.; STRASKRABA, M. (Eds.). . **Theoretical reservoir ecology and its applications**. São Carlos: Backhuys Publishers, 1999. p. 592.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. State-of-the-art of reservoir limnology and water quality management. In: STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G.; DUNCAN, A. (Eds.). . **Comparative reservoir limnology and water quality management**. [s.l.] Kluwer; Developments in Hydrobiology, 77, 1993. p. 213–288.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M.; BOZELLI, R. L. Floods increase similarity among aquatic habitats in river-floodplain systems. **Hydrobiologia**, v. 579, n. 1, p. 1–13, 2007.

THORP, J. H. Models of ecological processes in riverine ecosystems. In: LIKENS, G. E. (Ed.). . **River Ecosystem Ecology**. San Diego, CA: Academic Press (Elsevier), 2010. p. 212–219.

UTERMÖHL, H. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. **Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie**, v. 9, n. 1, p. 1–38, 1958.

VIEIRA, M. C. et al. Spatial synchrony of zooplankton during the impoundment of amazonic reservoir. **Ecological Indicators**, v. 98, p. 649–656, 2019.

VIVIANI, J. et al. Synchrony patterns reveal different degrees of trophic guild vulnerability after disturbances in a coral reef fish community. **Diversity and Distributions**, v. 25, n. 8, p. 1210–1221, 2019.

WICKHAM, H. **ggplot2: Elegant graphics for data analysis**. New York: Springer-Verlag, 2016.

XU, Y. et al. Patterns of asynchrony for phytoplankton fluctuations from reservoir mainstream to a tributary bay in a giant dendritic reservoir (Three Gorges Reservoir, China). **Aquatic Sciences**, v. 74, p. 287–300, 2012.

ZANON, J. E. et al. Potential mechanisms related to the spatial synchrony of phytoplankton is dependent on the type of data. **Hydrobiologia**, v. 841, p. 95–108, 2019.

ZANON, J. E.; RODRIGUES, L.; BINI, L. M. Hard to predict: Synchrony in epiphytic biomass in a floodplain is independent of spatial proximity, environmental distance, and environmental synchrony. **Ecological Indicators**, v. 93, n. May, p. 379–386, 2018.

APÊNDICE A – Descrição dos grupos funcionais

Descrição dos GFRs selecionados, bem como as classes taxonômicas representantes (PADISÁK; CROSSETTI; NASELLI-FLORES, 2009; REYNOLDS et al., 2002).

GFR	Descrição	Classe	Forma de vida
B	Característicos de ambientes mesotróficos e rasos. Toleram baixa incidência luminosa e são sensíveis a pH alto e deficiência de Sílica.	Coscinodiscophyceae	Unicelulares e filamentosas
C	Característicos de lagos pequenos eutróficos, toleram deficiência de carbono e são sensíveis a estratificação	Coscinodiscophyceae	Unicelulares e filamentosas
E	Característicos de pequenos lagos rasos e oligotróficos, toleram deficiência de nutriente e são sensíveis a deficiência de CO2	Chrysophyceae	Unicelular flagelada
F	Característicos de ambientes mesotróficos, transparentes e com zona de mistura profunda. Toleram baixas concentrações de nutrientes e alta turbidez, são sensíveis a baixas concentrações de carbono.	Chlorophyceae, Klebsormidiophyceae e Trebouxiophyceae	Unicelular ou colonial mucilaginosa
J	Característicos de ambientes rasos, meso a eutrófico e sensíveis a baixa incidência luminosa.	Chlorophyceae e Xanthophyceae	Unicelular ou cenobial
LO	Característicos de ambientes com altas temperaturas, rasos a profundos, oligo a eutróficos. Tolerantes a nutrientes segregados e sensíveis a zona de mistura prolongada.	Cyanobacteria e Dinophyceae	Unicelular flagelado e colonial mucilaginosa
MP	Característicos de ambientes rasos e lóticos. Toleram altos valores de turbidez e são sensíveis a deficiência de silica.	Bacillariophyceae	Unicelular
N	Características de regiões epliminias de lagos rasos, toleram deficiência de nutriente e são sensíveis a estratificação e aumento de pH.	Zygnemaphyceae	Unicelular ou pseudofilamentosa
P	Característicos de ambientes rasos e eutróficos. Toleram pouca incidência luminosa e baixas concentrações de carbono. São sensíveis a deficiência de silica e estratificação térmica.	Zygnemaphyceae, Coscinodiscophyceae	Unicelular ou pseudofilamentosa
S1	Encontrados em ambientes rasos, turvos e com zona de mistura. Podem ocorrer em ambientes profundos. São tolerantes a alta incidência luminosa e altas temperaturas.	Cyanobacteria	Filamentosas homocitadas
TC	Característicos de águas com fluxo lento e eutróficas.	Cyanobacteria	Filamentosas homocitadas
W1	Característicos de ambientes pequenos e com alta concentração de matéria orgânica. Toleram alta DBO.	Chlamydophyceae e Euglenophyceae	Colonial e unicelular flagelada
W2	Característicos de lagos rasos mesotróficos.	Euglenophyceae	Unicelular flagelada
X1	Característicos de ambientes com zona de mistura e altas concentrações de nutrientes. Toleram estratificação térmica e são sensíveis a deficiência de nutrientes.	Chlorophyceae e Trebouxiophyceae	Unicelular ou colonial

GFR	Descrição	Classe	Forma de vida
X2	Encontrados em ambientes rasos, claros e mesotróficos. Toleram estratificação e são sensíveis a mistura da coluna d'água.	Chlamydophyceae e Cryptophyceae	Unicelular flagelada
Y	Característicos de lagos pequenos lênticos e toleram pouca luz.	Cryptophyceae	Unicelular flagelada

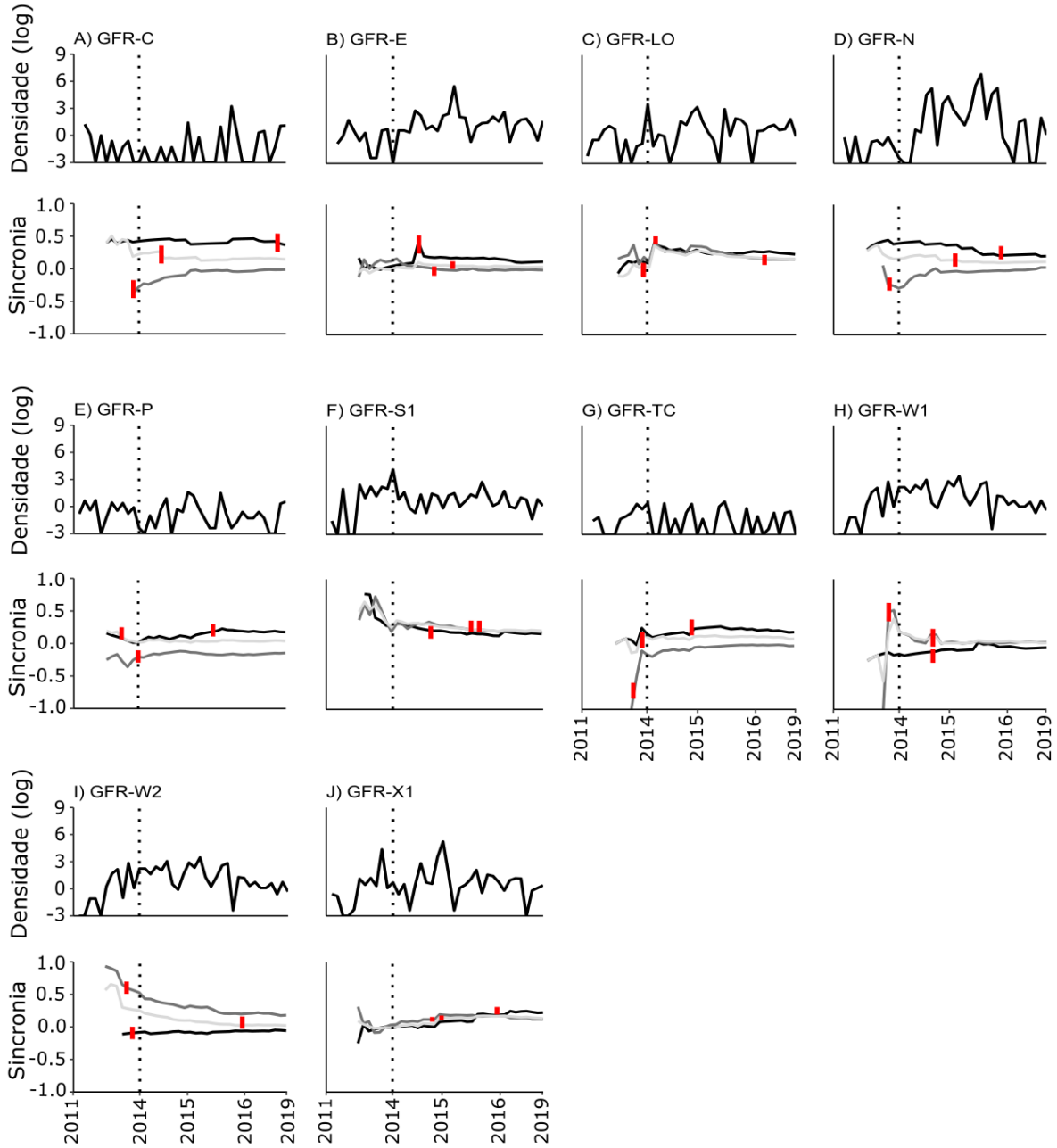
APÊNDICE B – Valores de sincronia ambiental

Valores médios de sincronia ambiental (Sinc. média) e intervalo de confiança inferior (IC inf) e superior (IC sup) durante toda a série temporal em todos os locais, rio Jari e também tributários.

		Todos os locais			**Rio Jari**			**Tributários**		
Variável	**Fase**	**Sinc. média**	**IC inf.**	**IC sup.**	**Sinc. média**	**IC inf.**	**IC sup.**	**Sinc. média**	**IC inf.**	**IC sup.**
Cond	**Pré**	0.577	0.350	0.787	0.761	0.535	0.970	0.475	0.112	0.816
	Pós	0.585	0.412	0.742	0.807	0.711	0.892	0.452	0.194	0.675
DBO	**Pré**	0.416	0.195	0.634	0.562	0.334	0.779	0.327	-0.054	0.790
	Pós	0.445	0.346	0.551	0.510	0.364	0.663	0.410	0.257	0.579
NID	**Pré**	0.648	0.439	0.817	0.783	0.698	0.887	0.562	0.105	0.865
	Pós	0.676	0.579	0.781	0.846	0.802	0.901	0.634	0.548	0.740
NT	**Pré**	0.513	0.301	0.745	0.817	0.687	0.937	0.502	0.095	0.853
	Pós	0.641	0.538	0.755	0.796	0.728	0.887	0.627	0.517	0.736
OD	**Pré**	0.303	0.112	0.491	0.636	0.479	0.825	0.488	0.135	0.842
	Pós	0.268	0.099	0.487	0.650	0.566	0.733	0.165	-0.094	0.502
pH	**Pré**	0.322	0.081	0.570	0.636	0.322	0.899	0.492	0.028	0.801
	Pós	0.397	0.281	0.534	0.602	0.357	0.800	0.463	0.326	0.639
PO4	**Pré**	0.612	0.333	0.846	0.739	0.583	0.947	0.536	0.239	0.895
	Pós	0.675	0.605	0.746	0.722	0.609	0.817	0.638	0.526	0.743
PT	**Pré**	0.557	0.352	0.744	0.558	0.199	0.858	0.656	0.328	0.903
	Pós	0.612	0.522	0.719	0.702	0.514	0.851	0.584	0.441	0.789
Temp	**Pré**	0.342	-0.050	0.802	0.926	0.859	0.980	-0.046	-0.590	0.654
	Pós	0.583	0.388	0.821	0.914	0.857	0.959	0.426	0.218	0.679
Turb	**Pré**	0.553	0.217	0.816	0.751	0.619	0.924	0.380	-0.284	0.867
	Pós	0.575	0.475	0.679	0.702	0.552	0.873	0.552	0.399	0.701
Z_{eu}	**Pré**	0.704	0.603	0.812	0.859	0.714	0.964	0.738	0.536	0.945
	Pós	0.537	0.399	0.690	0.782	0.660	0.883	0.548	0.383	0.738
Z_{eu}:Z_{max}	**Pré**	0.323	0.081	0.605	0.075	-0.519	0.896	0.514	-0.050	0.952
	Pós	0.184	0.030	0.400	0.096	-0.428	0.877	0.309	-0.101	0.774

APÊNDICE C – Variação temporal da densidade e dos valores de sincronia

Variação temporal da densidade média e sincronia da comunidade total e dos grupos funcionais para os GFR-C (A), E (B), LO (C), N (D), P (E), S1 (F), TC (G), W1 (H), W2 (I) e X1 (J) antes e após o barramento nas estações amostradas na área de influência do Rio Jari e tributários e também considerando todos os locais. A linha pontilhada vertical indica a formação do reservatório (março/2014) e as linhas verticais vermelhas indicam a mudança de ponto na série temporal (*changepoint*).



APÊNDICE D – Valores de sincronia da densidade total e dos GFRs

Valores médios (Média) de sincronia da densidade total e dos GFRs e intervalo de confiança inferior (IC inf) e superior (IC sup) durante a série temporal para todos os locais juntos epara o rio Jari e tributários.

		Todos os locais			Rio Jari			Tributários		
GFR	**Fase**	**Média**	**IC inf.**	**IC sup.**	**Média**	**IC inf.**	**IC sup.**	**Média**	**IC inf.**	**IC sup.**
B	**Pré**	0.371	0.084	0.663	0.691	0.519	0.890	0.231	-0.356	1.000
	Pós	0.340	0.203	0.490	0.611	0.457	0.737	0.229	0.007	0.500
C	**Pré**	0.368	0.049	0.750	0.421	0.201	0.706	-0.338	-0.493	-0.183
	Pós	0.167	-0.035	0.446	0.424	0.264	0.624	-0.069	-0.160	0.107
E	**Pré**	-0.008	-0.237	0.299	0.051	-0.364	0.481	0.079	-0.359	0.708
	Pós	0.051	-0.060	0.196	0.159	-0.082	0.454	0.015	-0.169	0.268
F	**Pré**	0.282	-0.135	0.668	0.587	0.378	0.779	0.308	-0.061	0.696
	Pós	0.158	0.021	0.311	0.387	0.239	0.564	0.088	-0.096	0.396
J	**Pré**	-0.003	-0.205	0.292	0.462	0.193	0.725	-0.017	-0.532	0.440
	Pós	0.099	-0.038	0.287	0.496	0.360	0.657	-0.008	-0.184	0.191
LO	**Pré**	-0.009	-0.200	0.215	0.084	-0.344	0.480	0.195	-0.226	0.770
	Pós	0.226	0.095	0.356	0.277	0.093	0.445	0.247	0.039	0.459
MP	**Pré**	0.275	0.015	0.554	0.469	0.122	0.823	0.306	-0.194	0.718
	Pós	0.255	0.117	0.431	0.537	0.363	0.735	0.197	0.019	0.425
N	**Pré**	0.254	-0.098	0.663	0.396	0.018	0.813	-0.176	-0.482	0.141
	Pós	0.142	-0.049	0.410	0.307	0.002	0.604	-0.037	-0.259	0.527
P	**Pré**	0.103	-0.178	0.456	0.077	-0.389	0.560	-0.245	-0.290	-0.191
	Pós	0.038	-0.108	0.201	0.151	-0.037	0.336	-0.158	-0.226	-0.106
S1	**Pré**	0.484	0.179	0.734	0.479	0.252	0.789	0.469	0.073	0.810
	Pós	0.255	0.155	0.353	0.198	-0.056	0.474	0.246	0.104	0.409
TC	**Pré**	0.029	-0.366	0.547	0.090	-0.307	0.605	-0.439	-0.613	-0.147
	Pós	0.110	-0.047	0.313	0.209	-0.041	0.451	-0.046	-0.158	0.196
W1	**Pré**	-0.060	-0.287	0.174	-0.171	-0.171	-0.171	0.054	-0.114	0.245
	Pós	0.053	-0.081	0.236	-0.072	-0.127	0.020	0.047	-0.184	0.297
W2	**Pré**	0.486	-0.049	0.890	-0.106	-0.106	-0.106	0.788	0.601	0.951
	Pós	0.089	-0.087	0.290	-0.076	-0.093	-0.060	0.292	0.084	0.515
X1	**Pré**	0.012	-0.235	0.361	-0.048	-0.231	0.526	0.046	-0.504	0.712
	Pós	0.118	-0.013	0.274	0.123	-0.059	0.440	0.141	-0.114	0.468
X2	**Pré**	0.172	-0.062	0.450	0.690	0.517	0.840	0.195	-0.268	0.729
	Pós	0.161	-0.019	0.398	0.632	0.501	0.761	0.083	-0.111	0.345
Y	**Pré**	-0.131	-0.421	0.227	0.185	-0.161	0.714	0.789	0.642	1.000
	Pós	0.145	-0.031	0.346	0.308	0.033	0.609	0.319	0.084	0.643

		Todos os locais			Rio Jari			Tributários		
GFR	**Fase**	**Média**	**IC inf.**	**IC sup.**	**Média**	**IC inf.**	**IC sup.**	**Média**	**IC inf.**	**IC sup.**
D. TOTAL	**Pré**	0.126	-0.132	0.421	0.697	0.577	0.839	0.192	-0.297	0.700
	Pós	0.356	0.214	0.551	0.821	0.748	0.888	0.264	0.101	0.440

APÊNDICE E– Regressões matriciais múltiplas

Resultados das regressões matriciais múltiplas entre os valores médios de sincronia de cada GFR e densidade total e a distância geográfica e ambiental. Valores de p <0.05 em negrito.

GFR	Estimadores	Sincronia	*p*	R^2	*p* (R^2)	*F*
B	**Intercepto**	0.501	0.006	0.270	0.005	9.614
	Matriz E	-0.056	**0.002**			
	Matriz G	0.052	0.940			
C	**Intercepto**	0.321	0.119	0.067	0.498	1.510
	Matriz E	-0.035	0.344			
	Matriz G	-0.984	0.559			
E	**Intercepto**	0.124	0.145	0.034	0.561	0.904
	Matriz E	-0.019	0.320			
	Matriz G	-0.281	0.664			
F	**Intercepto**	0.370	0.005	0.224	0.006	7.521
	Matriz E	-0.048	**0.017**			
	Matriz G	-1.250	**0.031**			
J	**Intercepto**	0.529	0.003	0.382	0.004	16.071
	Matriz E	-0.095	**0.003**			
	Matriz G	-1.239	0.110			
LO	**Intercepto**	0.307	0.096	0.107	0.220	3.122
	Matriz E	-0.039	0.087			
	Matriz G	-0.152	0.853			
MP	**Intercepto**	0.668	0.002	0.582	0.001	36.218
	Matriz E	-0.122	**0.001**			
	Matriz G	0.075	0.921			
N	**Intercepto**	0.126	0.350	0.129	0.196	2.433
	Matriz E	0.021	0.444			
	Matriz G	-2.202	0.074			
P	**Intercepto**	0.094	0.393	0.024	0.752	0.411
	Matriz E	-0.018	0.489			
	Matriz G	0.048	0.979			
S1	**Intercepto**	0.241	0.350	0.006	0.854	0.155
	Matriz E	-0.008	0.615			
	Matriz G	-0.089	0.838			
TC	**Intercepto**	0.241	0.320	0.006	0.865	0.155
	Matriz E	-0.008	0.636			
	Matriz G	-0.089	0.828			
W1	**Intercepto**	0.046	0.499	0.033	0.348	0.890

GFR	Estimadores	Sincronia	*p*	R^2	*p* (R^2)	*F*
	Matriz E	-0.017	0.256			
	Matriz G	0.476	0.319			
	Intercepto	0.046	0.510	0.033	0.362	0.890
W2	**Matriz E**	-0.017	0.250			
	Matriz G	0.476	0.333			
	Intercepto	0.246	0.076	0.067	0.378	1.872
X1	**Matriz E**	-0.028	0.182			
	Matriz G	-0.345	0.641			
	Intercepto	0.851	0.001	0.743	0.001	74.995
X2	**Matriz E**	-0.186	**0.001**			
	Matriz G	-0.526	0.405			
	Intercepto	0.329	0.005	0.198	0.016	5.198
Y	**Matriz E**	-0.055	**0.007**			
	Matriz G	-1.411	0.147			
	Intercepto	0.836	0.001	0.646	0.001	47.488
TOTAL	**Matriz E**	-0.130	**0.001**			
	Matriz G	-0.374	0.624			