



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA



NAOMIN GONÇALVES DE CASTRO

Efeito das variações pluviométricas e ambientais na ecologia reprodutiva do tetra-princesa *Hemigrammus collettii* (Characiformes: Acestrorhamphidae) em riachos amazônicos

Belém
2026

NAOMIN GONÇALVES DE CASTRO

Efeito das variações pluviométricas e ambientais na ecologia reprodutiva do tetra-princesa *Hemigrammus collettii* (Characiformes: Acestrorhamphidae) em riachos amazônicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Área de concentração: Ecologia.

Linha de Pesquisa: Ecologia de Organismos e População

Orientador: Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag
Coorientadora: Prof. Dra. Maria Auxiliadora Pantoja Ferreira

Belém
2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal do Pará

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- G635e Gonçalves de Castro, Naomin.
 Efeito das variações pluviométricas e ambientais na ecologia reprodutiva do
 tetra-princesa *Hemigrammus collettii* (Characiformes: Acestrorhamphidae) em
 riachos amazônicos / Naomin Gonçalves de Castro. — 2026.
 38 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag
 Coorientação: Profª. Dra. Maria Auxiliadora Pantoja Ferreira
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ecologia,
 Belém, 2026.
1. Estratégia de vida. 2. Precipitação. 3. Riachos. 4. Reprodução. 5. Variáveis
 ambientais. I. Título.

CDD 574.5248

NAOMIN GONÇALVES DE CASTRO

Efeito das variações pluviométricas e ambientais na ecologia reprodutiva do tetra-princesa *Hemigrammus collettii* (Characiformes: Acestrorhamphidae) em riachos amazônicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Luciano Fogaça de Assis Montag
Universidade Federal do Pará (Presidente)

Prof. Dr. Bruno da Silveira Prudente
Universidade Federal Rural da Amazônia

Prof. Dra. Erica Maria Pellegrini Caramaschi
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dra. Rosana Mazzoni Buchas
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Aprovada em: 25 de fevereiro de 2026

Link de apresentação: <https://meet.google.com/wkw-mkau-upw>

Efeito das variações pluviométricas e ambientais na ecologia reprodutiva do tetra-princesa *Hemigrammus collettii* (Characiformes: Acestrorhamphidae) em riachos amazônicos

RESUMO

Os riachos compõem grande parte do ecossistema fluvial amazônico, onde existe uma abundância de peixes de pequeno porte, que possuem peculiaridades quanto ao seu modo de vida, e estratégias reprodutivas, que podem ser influenciadas por diversos fatores, como as chuvas que são consideradas importantes mediadoras das condições ambientais dos riachos. Por meio da ecologia reprodutiva, este estudo teve como objetivo responder qual é o efeito da variação pluviométrica sobre as variáveis ambientais dos riachos e sobre a atividade reprodutiva de *Hemigrammus collettii*? Sob a hipótese de que esta espécie, sendo um caracídeo de porte pequeno, possui características reprodutivas correspondentes a estratégia oportunista. As coletas foram realizadas no município de Paragominas – Estado do Pará, bacia do rio Capim, bimestralmente entre maio de 2022 e março de 2023. Foram coletados 387 espécimes, 184 fêmeas e 203 machos, em que essa população se diferenciou em relação à proporção sexual somente no mês de novembro. As fêmeas foram observadas nos estágios de maturação imaturo, em maturação, maduro, desovado e em repouso, enquanto os machos foram encontrados imaturos, em maturação e maduro. O tamanho médio da primeira maturação sexual diferiu entre fêmeas e machos. Os valores de Índice Gonadosomático diferiram ao longo dos meses, onde a sua maior atividade ocorreu nos períodos de maior pluviometria. *H. collettii* apresentou desova total e baixa fecundidade. Baseado na relação peso-comprimento, fêmeas e machos apresentaram padrões de crescimento distintos. O fator de condição alométrico (K), variou ao longo dos meses, onde os machos no período de menor variação pluviométrica diferiram dos outros meses. As variáveis ambientais com maior efeito preditivo foram precipitação e condutividade elétrica, que tiveram efeito positivo sobre a atividade gonadal, e pH, vazão, velocidade e temperatura com efeito negativo. Concluímos que *H. collettii* apresenta elevada dependência das variações ambientais locais, exibindo uma estratégia de vida oportunista, com tendência a estratégias sazonais, sendo suscetível a alterações no regime hidrológico de riachos amazônicos.

Palavras-chave: Estratégia de vida, Precipitação, Riachos, Reprodução, Variáveis ambientais

ABSTRACT

Streams constitute a large part of the Amazonian fluvial ecosystem, where there is an abundance of small-bodied fish that exhibit particularities in their way of life and reproductive strategies, which may be influenced by several factors, such as rainfall, considered an important mediator of environmental conditions in streams. Through reproductive ecology, this study aimed to answer the following question: what is the effect of rainfall variation on stream environmental variables and on the reproductive activity of *Hemigrammus collettii*? We hypothesized that this species, being a small characid, presents reproductive traits consistent with an opportunistic strategy. Sampling was conducted in the municipality of Paragominas, Pará State, in the Capim River basin, on a bimonthly basis between May 2022 and March 2023. A total of 387 specimens were collected, comprising 184 females and 203 males, and this population differed in sex ratio only in November. Females were observed in the immature, maturing, mature, spawned, and resting stages, whereas males were found in the immature, maturing, and mature stages. The mean length at first sexual maturity differed between females and males. Gonadosomatic Index (GSI) values varied over the months, with peak activity occurring during periods of higher rainfall. *H. collettii* exhibited total spawning and low fecundity. Based on the length–weight relationship, females and males showed distinct growth patterns. The allometric condition factor (K) varied over the months, with males during periods of lower rainfall differing from other months. The environmental variables with the greatest predictive effect were precipitation and electrical conductivity, which had positive effects on gonadal activity, whereas pH, discharge, flow velocity, and temperature had negative effects. We conclude that *H. collettii* shows a high dependence on local environmental variation, exhibiting an opportunistic life-history strategy with a tendency toward seasonal strategies, and is therefore susceptible to changes in the hydrological regime of Amazonian streams.

Keywords: life-history strategy; precipitation; streams; reproduction; environmental variables

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1- Localização do estado do Pará, com destaque aos pontos de coleta pertencentes à bacia do rio Capim e microbacia do Parariquara (círculos em laranja) e microbacia do Potiritá (círculos em preto)	13
Figura 2- Proporção sexual de <i>H. collettii</i> coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. A linha tracejada representa a precipitação mensal acumulada	17
Figura 3- A- Indivíduo adulto de <i>H. collettii</i> ; B- Ovário imaturo; C- Testículo imaturo, Ci- Espermatogônia A, Cii- Espermatogônia B; D-Ovário em maturação; E-Testículo em maturação; F- Ovário maduro; G-Testículo maduro; H-Ovário desovado; I- Ovário em repouso; I'-Oócito tipo I; II- Oócito tipo II; III- Oócito tipo III; IV- Oócito tipo IV; POC- Complexo pós-ovulatório; SgA- Espermatogônia A; SgB- Espermatogônia B; Sc-Espermátocito; St- Espermátide; Sz- Espermatozoides; Linha tracejada- G- Túbulos seminíferos; I- Lamelas ovígeras.....	20
Figura 4- Estágios de maturação para fêmeas (A) e machos (B) de <i>H. collettii</i> coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. A linha tracejada representa a precipitação mensal acumulada.	20
Figura 5- Estimativa de comprimento de maturação sexual (L_{50}) para fêmeas (A) e machos (B) de <i>H. collettii</i> coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.	21
Figura 6- Variação bimestral do índice gonadossomático em fêmeas (A) e machos (B) de <i>H. collettii</i> , coletados entre maio de 2022 e março de 2023, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. A linha tracejada representa a precipitação mensal acumulada.	22
Figura 7- Variação do diâmetro dos oócitos de <i>H. collettii</i> coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.....	23
Figura 8- Relação peso-comprimento e distribuição dos resíduos proporcionais para fêmeas (A e B) e machos (C e D) de <i>H. collettii</i> coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.	24
Figura 9- Variação bimestral do Fator de Condição (K) de <i>H. collettii</i> coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.	25

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Variação bimestral das características físicas e químicas e estrutura do habitat dos riachos no período de maio de 2022 a março de 2023, município de Paragominas, Pará, Brasil.	16
Tabela 2- Variação bimestral dos parâmetros morfológicos de <i>H. collettii</i> , no período de maio de 2022 a março de 2023, município de Paragominas, Pará, Brasil.	17
Tabela 3- Resultado de modelos lineares generalizados (GLM) entre as variáveis ambientais, com IGS% de fêmeas e machos de <i>H. collettii</i> como variável resposta, coletados entre maio de 2022 e março de 2023.	26

Sumário

INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	12
Área de estudo.....	12
Delineamento	Erro! Indicador não definido.
Coleta de material abiótico e biótico.....	13
Microscopia de luz	14
Análise de dados	14
RESULTADOS.....	16
DISCUSSÃO	26
REFERÊNCIAS.....	31

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, à Nossa Senhora, e aos meus Guias espirituais por me oferecerem força e lucidez para completar essa caminhada.

Aos meus pais, Silvia Gonçalves e Carlos Nazareno Castro por absolutamente tudo o que fizeram e fazem por mim, sempre acreditando e apoiando as minhas escolhas, segurando minha mão em todos os momentos bons e difíceis, não existem palavras suficientes para agradecer-los, tudo isso é por vocês.

À minha família, aos mais próximos e aqueles que infelizmente já não se encontram nesse plano, obrigada por toda torcida, carinho e confiança depositadas em mim desde o início dos meus estudos, por sempre acreditarem que eu poderia dar o meu melhor.

Aos meus orientadores, Prof. Luciano Montag e Prof. Maria Auxiliadora Ferreira, por todo conhecimento compartilhado, colaboração e ajuda para que esse belo trabalho se tornasse realidade.

Às Professoras Rossineide da Rocha e Yanne Mendes, pelo apoio e dedicação ao nosso grupo de pesquisa.

Ao GPHEA, infinitos agradecimentos por toda ajuda, colaboração, abraços, palavras de incentivo e risadas compartilhadas, foi uma benção passar esses momentos ao lado de vocês. Ao Alex Paiva, Geovanna Chaves, Antonio Elivelton, Yuri Favacho e Breno Richard, por tudo o que passamos em comum na pós-graduação, entre experiências, disciplinas, seminários e semanas da pós compartilhados. Em especial, ao Antonio Elivelton por dedicar seu tempo e parceria, e me ajudar a solucionar qualquer problema que envolvesse a minha dissertação, muito obrigada amigo. E ao Alex e a Geovanna, muito obrigada por sempre estarem ao meu lado, desde a prova do mestrado até hoje, entre disciplinas difíceis, horas de laboratório, e a dissertação, se fui muito feliz na pós foi porque pude ter a companhia de vocês.

Ao Biodiversity Research Consortium Brazil-Norway (BRC) pelo financiamento da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de mestrado ao longo desses dois anos.

À Universidade Federal do Pará, ao Instituto de Ciências Biológicas, e ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, por todos os recursos ofertados e pelo privilégio em fazer pesquisa na Amazônia.

INTRODUÇÃO

A bacia amazônica abriga uma fonte essencial de biodiversidade aquática, sustentada por corpos d'água altamente heterogêneos chamados riachos (Junk, 1983), que abrangem aproximadamente 50% da fauna de peixes da Amazônia (Junk; Piedade, 2005). Para suportar essa diversidade em diferentes habitats e regiões (Winemiller et al., 2008), são necessários vários processos ao longo do ciclo de vida dos peixes, em especial a reprodução desses organismos (Wootton & Smith, 2014). Com isso, a fim de garantir sua linhagem e perpetuação em ambientes variados, os peixes de riachos tropicais possuem um conjunto de características, entre anatômicas, fisiológicas e comportamentais, altamente diversas, chamadas de estratégia e tática reprodutiva (Vazzoler, 1996; Winemiller et al., 2008).

No geral, os peixes associam essas características ao seu modo de vida. Conforme proposto por Winemiller e Rose (1992), diferentes atributos, como fecundidade, início e duração da reprodução e padrão de crescimento, permitem classificá-las em três tipos de estratégias de história de vida: equilíbrio, oportunista e sazonal, cada uma adaptada a diferentes níveis de previsibilidade, variabilidade e sazonalidade dos regimes ambientais. No que se refere às estratégias reprodutivas, os peixes de água doce podem ser influenciados por diversos fatores (Lowe-McConnell, 1979), como profundidade e fluxo de vazão, disponibilidade de habitat, e química da água, que frequentemente são moldados pelo regime de chuvas (Waddell & Crampton, 2020), o que, por sua vez, afeta diretamente a reprodução dos peixes (López-Rodríguez et al., 2021).

A partir da forte influência das variações pluviométricas locais, há consequente elevação do nível dos riachos e inundação das planícies adjacentes (Espírito-Santo et al., 2009). A conexão do leito dos riachos com a formação de um conjunto de poças temporárias nas zonas ripárias, proporciona abrigos e recursos necessários que auxiliam no desenvolvimento dos organismos aquáticos (Pazin et al., 2006; Espírito-Santo; Zuanon, 2017). Assim, os peixes demonstram uma notável adaptação ao sincronizar sua reprodução com períodos ótimos para as perspectivas de sobrevivência e crescimento de sua prole (Wootton & Smith, 2014), em que seu sucesso reprodutivo está intimamente relacionado ao local e ao momento em que ocorre a reprodução (Hashiguti F. et al., 2017; Wootton, 1990).

A compreensão da relação dos recursos ambientais com o crescimento, a sobrevivência e a reprodução dos animais reflete os traços de história de vida, o que é fundamental para o estudo de processos evolutivos e ecológicos (Stearns, 2000). Uma das abordagens para analisar a dinâmica populacional desses indivíduos relacionada às variações sazonais dos fatores ambientais é a ecologia reprodutiva (Caramaschi & Brito, 2021), que considera parâmetros morfológicos, como relação massa-comprimento, fator de condição, proporção sexual, e parâmetros gonadais, como índice gonadosomático, comprimento da primeira maturação sexual, período reprodutivo e fecundidade,

procurando, assim, identificar os fatores específicos associados aos ciclos de maturação gonadal dos peixes (Waddell & Crampton, 2020).

Estudos sobre a reprodução de peixes de riacho ainda são escassos (Castro & Polaz, 2020), realidade comum à grande parte das espécies tropicais e de pequeno porte, especialmente no que tange aos traços de história de vida e suas funções ecológicas (Hortal et al., 2015). Nesse contexto, tratando-se de peixes conhecidos como “piaba” e “lambaris”, *Hemigrammus collettii* (Steindachner, 1882) é um Characiformes, recentemente alocado ao gênero *Hemigrammus* e à família Acestrorhamphidae (Melo et al., 2024), de pequeno porte, com abundante distribuição nos riachos da Amazônia oriental (Barbosa et al., 2024). Possui hábitos próximos às margens, reunido em grupos de 3 a 30 indivíduos em condições de fluxo variáveis (Brejão et al., 2013), e tende a exibir uma dieta oportunista (Barros et al., 2024).

Diante disso, este estudo tem como objetivo responder à seguinte pergunta: qual é o efeito da variação pluviométrica sobre as variáveis ambientais dos riachos e sobre a atividade reprodutiva de *H. collettii*? Neste contexto, será caracterizado os estágios de maturação gonadal, o tamanho na primeira maturação, o tipo de desova, a fecundidade, a duração do período reprodutivo e o fator de condição. Baseado na hipótese de que, por se tratar de uma espécie de pequeno porte, *H. collettii* apresentará características reprodutivas compatíveis com a estratégia oportunista, sendo os indivíduos maduros mais frequentes durante o período chuvoso, com atividade reprodutiva relacionada de maneira positiva às variações hidrológicas locais, às características físico-químicas e à estrutura física do habitat do riacho.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado em riachos da bacia do rio Capim, no município de Paragominas, no estado do Pará, Brasil, abrangendo duas principais microbacias pertencentes às drenagens dos riachos Parariquara e Potiritá (Figura 1), com três pontos de coleta em cada riacho. O clima da região é classificado como “Aw4” (Peel et al., 2007), onde a precipitação média anual é de aproximadamente 1.800 mm, com temperatura média de 26°C, umidade relativa de 81%, e vegetação do tipo perene e de planície (Verissimo et al., 1992), sendo predominada por floresta de *terra firme*.

As coletas foram realizadas durante os períodos chuvoso (dezembro a maio) e seco (junho a novembro). As amostragens ocorreram bimestralmente entre maio de 2022 e março de 2023, em seis riachos de baixa ordem (1ª a 3ª ordem; Strahler, 1957) com estruturas físicas semelhantes. Em cada riacho, foi delimitado um trecho de 150 m para amostragem. Todas as coletas foram realizadas entre 8h e 16h, totalizando 8 horas de esforço amostral por riacho.

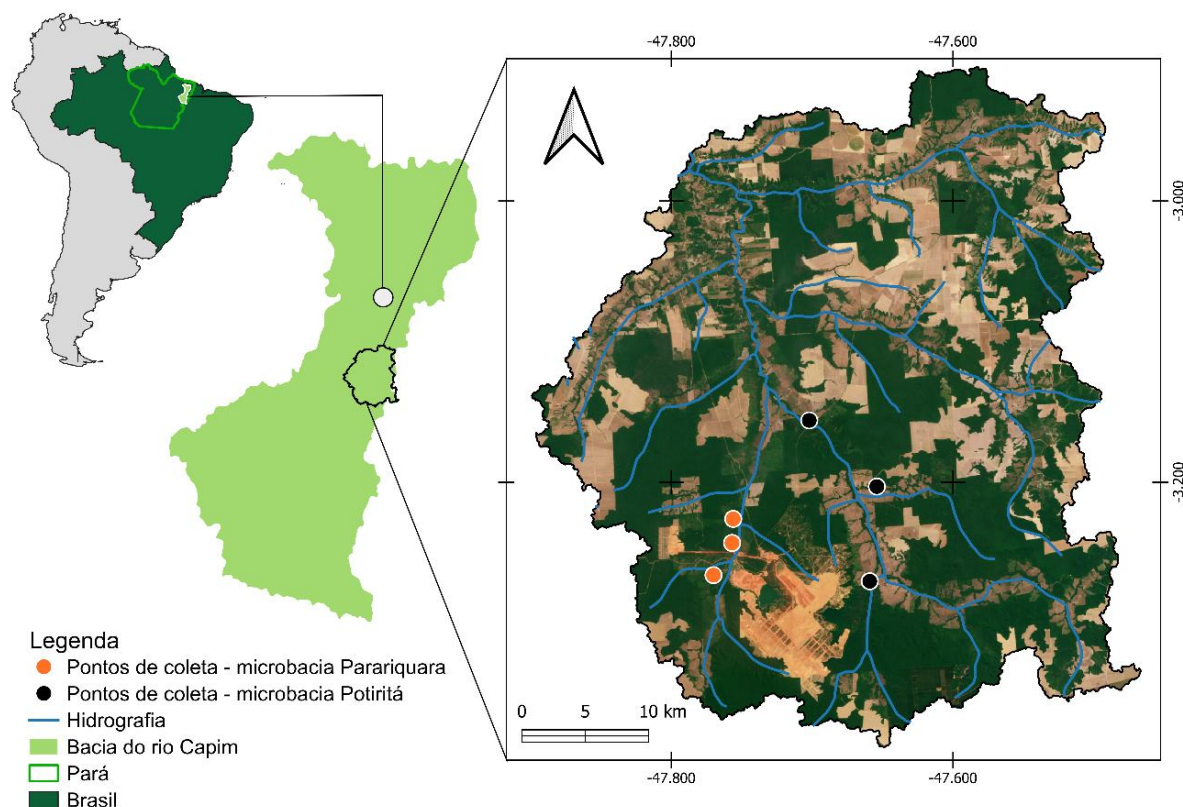


Figura 1- Localização do estado do Pará, com destaque aos pontos de coleta pertencentes à bacia do rio Capim e microbacia do Parariquara (pontos em laranja) e microbacia do Potiritá (pontos em preto)

Coleta de material abiótico e biótico

Em cada ponto de coleta, foram mensuradas características físicas e químicas da água, incluindo: temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$), turbidez (NTU) e oxigênio dissolvido (mg/L) utilizando um medidor multiparâmetro Horiba U-50, além de vazão (m^3/s) calculada utilizando a fórmula $Q = A \times V_m$, onde Q = vazão, V_m = velocidade média do fluxo superficial e A = área média da seção transversal. A área média da seção transversal foi calculada por $A = \sum_{i=1}^n A_n$, em que A = área da seção transversal, dada pela soma de $[(Z_1 + Z_2)/2] \times w + [(Z_2 + Z_3)/2] \times w + \dots + [(Z_n + Z_{n+1})/2] \times w$, onde Z_n = profundidade medida em cada segmento e w = largura de cada segmento.

Também foram avaliadas as características da estrutura física do riacho, como a profundidade média do canal (cm), a largura molhada média do trecho (cm), obtidas com o uso de um ecobatímetro, e a velocidade da corrente (m/s) medida por meio de um fluxômetro. Os dados de precipitação mensal acumulada (mm) foram fornecidos pela Mineração Paragominas (MPSA).

Os espécimes de *Hemigrammus collettii* foram capturados utilizando rede de mão retangular (80 x 60 cm) e rede de arrasto de 6 metros de comprimento. Os peixes amostrados foram eutanasiados com doses letais de hidrocloreto de benzocaína (250mg.L), e mensurados quanto a sua massa total (g) e comprimento padrão (mm).

As coletas e a manipulação dos animais foram autorizadas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) por meio do Sistema Brasileiro de Autorização e Informação sobre Biodiversidade (SISBIO) licença nº. 81469-1 e aprovada pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Federal do Pará (CEUA/UFPA) nº. 8730240222.

Microscopia de luz

Após a coleta, os peixes foram fixados em formol a 10%, por 48 horas, e posteriormente transferido para etanol 70% para conservação. Em laboratório, os espécimes foram eviscerados, para a retirada das gônadas, que foram pesadas (Mg), com precisão de 0,0001 g, e acondicionadas em etanol 70% para a realização das análises microscópicas.

As gônadas foram desidratadas gradualmente em solução de etanol, de 70% a 100%, infiltradas em solução de historesina e etanol 95% (1:1), e solução pura e incluídas em historesina acrescido da solução endurecedora e polimerizadas em estufa. As secções histológicas foram obtidas utilizando um micrótomo, na espessura de 3 µm, coradas com azul de metileno, analisadas e fotografadas em um fotomicroscópio Nikon Eclipse Ci-S H550S acoplado a uma câmera Nikon Digital Sight DS-U3, usando software NIS-Elements BR (4.00.07-bit). A determinação do sexo e dos estágios de maturação dos espécimes foi realizada com base na frequência dos diferentes tipos celulares da linhagem oocitária e espermatogênica, adaptada de Mendes (2017).

As fêmeas foram classificadas em cinco estágios: a) imaturo – com base na presença de oogônias, oócitos tipo I e II; b) em maturação – oócitos tipo II e III; c) madura – oócitos tipo IV com grânulos de vitelo; d) repouso – lamelas ovígeras com oócitos tipo I; e) em desova – complexo pós-ovulatório e oócitos atrésicos. Os machos foram classificados em quatro estágios: a) imaturo – espermatogônias tipo A e B; b) em maturação – espermatogônias, espermatócitos, espermatídes e poucos espermatozoides; c) maduro – ampla presença de espermatozoides no túbulo seminífero.

Análise de dados

A proporção entre machos e fêmeas na população foi avaliada tanto para o período de estudo como um todo, como para cada mês amostrado. Diferenças nessa proporção foram verificadas através do teste qui-quadrado (X^2) de aderência, considerando a hipótese nula de que a proporção sexual dessa população não difere de 1:1, conforme proposto por Vazzoler (1996).

Foram avaliados o Índice Gonadosomático (IGS %) e a variação da frequência dos estágios de maturação. Os valores de IGS%, obtidos pela equação: $IGS\% = (Mg/Mt) * 100$, onde *Mg* é a massa da gônada e *Mt* é a massa total do indivíduo, foram submetidos à verificação das premissas e testados para averiguar as diferenças entre os meses por meio de um teste de Kruskal-Wallis, seguido

por um teste a posteriori de comparações múltiplas de Dunn. Para esse índice foram desconsiderados os indivíduos imaturos, por ainda não estarem aptos à reprodução.

A estimativa de tamanho médio de primeira maturação sexual (L_{50}), correspondente ao comprimento no qual 50% dos indivíduos estão aptos à reprodução, foi realizada separadamente para machos e fêmeas por meio da equação logística $P = a(1 + e^{-(r \cdot (Cp - L_{50}))})^{-1}$, onde P é a proporção de indivíduos adultos; a é o coeficiente de proporcionalidade; r é o parâmetro de taxa de mudança de fase (de indivíduos juvenis para adultos); Cp é o comprimento padrão em mm. A equação foi ajustada utilizando a rotina Solver do Microsoft Office Excel® 2019.

A fim de determinar o tipo de desova e fecundidade de *H. collettii*, foram selecionadas dez gônadas maduras, onde os oócitos foram dissociados após imersão em solução de *Gilson*, submetidos ao protocolo proposto por Vazzoler (1996). O tipo de desova foi definido com base na distribuição da frequência dos diâmetros dos oócitos, esses foram medidos macroscopicamente com estereomicroscópio *Leica* M205A, utilizando o software LAS X, sendo apoiados pela avaliação da frequência de ocorrência de diferentes fases do desenvolvimento do oócito nos cortes histológicas. A estimativa da fecundidade foi feita por meio da contagem dos oócitos classificados como tipo IV com auxílio do estereomicroscópio.

O padrão de crescimento foi avaliado por meio da relação peso-comprimento, baseada na equação modificada por Huxley (1924), $Mt = a \cdot Cp^b$, onde Mt é massa total (g); Cp o comprimento padrão; a o coeficiente de proporcionalidade, e b o coeficiente alométrico, os modelos foram ajustados através da rotina Solver. Os espécimes foram avaliados quanto ao seu fator de condição alométrico (K). Os valores de K foram calculados por meio da equação $K = Mt / Cp^b$, onde Mt é a massa corporal total; Cp o comprimento padrão; e b , o coeficiente alométrico, verificados quanto às premissas estatísticas de normalidade e homoscedasticidade e testados para averiguar as diferenças entre os meses por meio de um Kruskal-Wallis, seguido por um teste a posteriori de Dunn.

Antes de serem associadas à atividade reprodutiva, as variáveis físicas e químicas da água e os descritores de habitat, exceto a precipitação mensal, foram submetidos a uma pré-seleção. As variáveis com baixo coeficiente de variação ($\leq 10\%$) entre os meses foram excluídas. As variáveis remanescentes foram analisadas por meio do coeficiente de correlação de Spearman para identificar a multicolinearidade. Em casos de variáveis redundantes ($r^2 > |0,60|$, $p < 0,05$), foram mantidas aquelas com importância preditiva para a biologia de peixes de riachos tropicais (Vazzoler, 1996).

Para verificar o efeito das características físicas, químicas e estruturais do hábitat sobre a atividade reprodutiva, foram construídos modelos lineares generalizados (GLM), com o IGS como variável resposta. A seleção dos modelos baseou-se no Critério de Informação de Akaike (AIC), sendo escolhidos aqueles com menor valor de AIC. A partir da seleção, elaborou-se um novo modelo

para investigar possíveis relações entre a atividade reprodutiva e as variáveis selecionadas. As análises foram realizadas separadamente para machos e fêmeas.

Todas as análises estatísticas foram conduzidas no software R Core Team, versão 4.5.1, adotando-se um nível de significância de 5%, utilizando os pacotes MuMIn (Bartoń, 2025), Car (Fox & Weisberg, 2019) e Vegan (Oksanen et al., 2025).

RESULTADOS

Levando em consideração as características físicas e químicas da água, os riachos apresentaram uma média de 24,9 °C ($\pm 0,4$) de temperatura, 4,3 ($\pm 0,3$) de pH, 29,9 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ (± 3) de condutividade elétrica, 17,8 NTU ($\pm 23,2$) de turbidez, 8 mg/L ($\pm 0,9$) de oxigênio dissolvido. Em relação as características da estrutura física, os riachos apresentaram média de 10,7 m ($\pm 4,5$) de largura, de 0,8 m ($\pm 0,2$) de profundidade, e 0,2 m/s ($\pm 0,1$) de velocidade média. Os meses com maior nível de precipitação foram janeiro (305,4 mm) e março (505,9 mm) de 2023, e os de menores níveis foram julho (4,8 mm) e setembro (2,7 mm) de 2022 (Tabela 1).

Tabela 1- Variação bimestral das características físicas e químicas e estrutura do habitat dos riachos no período de maio de 2022 a março de 2023, município de Paragominas, Pará, Brasil.

	Meses/ano					
	Maio/22	Julho/22	Setembro/22	Novembro/22	Janeiro/23	Março/23
P (mm)	182,2	4,8	2,7	200,3	305,4	505,9
T (°C)	26,2 $\pm$ 0,4	24,6 $\pm$ 0,32	25,4 $\pm$ 0,2	25,3 $\pm$ 0,39	24,5 $\pm$ 0,25	25,1 $\pm$ 0,29
pH	4,7 $\pm$ 0,4	4,3 $\pm$ 0,11	3,8 $\pm$ 0,16	4,5 $\pm$ 0,22	3,8 $\pm$ 0,29	4,6 $\pm$ 0,07
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$)	25,91 $\pm$ 1,06	31,86 $\pm$ 1,46	32,86 $\pm$ 2,21	33,13 $\pm$ 4,53	29,66 $\pm$ 2,12	25,10 $\pm$ 3,56
TU (NTU)	8,5 $\pm$ 1,58	3,8 $\pm$ 1,26	5,0 $\pm$ 0,94	14,0 $\pm$ 37,74	11,2 $\pm$ 6,14	69,1 $\pm$ 63,52
OD (mg/l)	11,8 $\pm$ 1,6	8,2 $\pm$ 0,38	9,7 $\pm$ 1,14	8,3 $\pm$ 0,59	7,5 $\pm$ 0,23	7,5 $\pm$ 0,2
LM (m)	7,7 $\pm$ 2,98	6,7 $\pm$ 2,56	9,9 $\pm$ 4,49	11,2 $\pm$ 3,61	11,2 $\pm$ 4,33	20,9 $\pm$ 17,6
PM (m)	1,0 $\pm$ 0,25	0,6 $\pm$ 0,22	0,9 $\pm$ 0,32	0,9 $\pm$ 0,33	0,9 $\pm$ 0,29	1,1 $\pm$ 0,7
VM (m/s)	0,2 $\pm$ 0,05	0,3 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0	0,2 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,16	0,4 $\pm$ 0,07
V (m/s)	1,1 $\pm$ 0,3	0,7 $\pm$ 0,15	1,0 $\pm$ 0,29	0,8 $\pm$ 0,59	0,9 $\pm$ 0,57	5,3 $\pm$ 3,5

P- Precipitação; **T-** Temperatura; **CE-** Condutividade Elétrica; **TU-** Turbidez; **OD-** Oxigênio Dissolvido; **LM-** Largura Molhada; **PM-** Profundidade Média; **VM-** Velocidade Média da corrente de água; **V-** Vazão.

Foram coletados 387 espécimes, 184 fêmeas e 203 machos. As fêmeas variaram o comprimento de 22,9 mm a 49,17 mm (em média 34,99 mm; $\pm 2,38$), com média de massa total de 0,952 g ($\pm 0,23$), enquanto os machos variaram de 19,48 mm a 40,62 mm (em média 31,24 mm; $\pm 3,01$), com média de massa total de 0,61 g ($\pm 0,19$) (Tabela 2). A população de machos e fêmeas diferenciou em relação a proporção sexual somente no mês de novembro ($X^2= 8,24$; $df= 1$; $p<0,05$), onde 54 machos e 28 fêmeas foram coletados, sendo 1,9 machos para cada fêmea (Fig. 2).

Tabela 2- Variação bimestral dos parâmetros morfológicos de *H. collettii*, no período de maio de 2022 a março de 2023, município de Paragominas, Pará, Brasil.

		Meses/ano					
		Maio/22	Julho/22	Setembro/22	Novembro/22	Janeiro/23	Março/23
Fêmeas	MT (g)	0,938 $\pm$ 0,62	0,908 $\pm$ 0,42	0,625 $\pm$ 0,29	0,823 $\pm$ 0,26	1,138 $\pm$ 0,35	1,28 $\pm$ 0,43
	CP (mm)	34,25 $\pm$ 7,54	35,06 $\pm$ 5,06	31,8 $\pm$ 3,93	33,62 $\pm$ 3,9	36,62 $\pm$ 3,47	38,61 $\pm$ 5,19
Machos	MT (g)	0,796 $\pm$ 0,26	0,728 $\pm$ 0,27	0,38 $\pm$ 0,13	0,42 $\pm$ 0,21	0,698 $\pm$ 0,25	0,702 $\pm$ 0,13
	CP (mm)	34,33 $\pm$ 4,40	33,14 $\pm$ 4,85	27,6 $\pm$ 2,66	27,33 $\pm$ 4,20	32,19 $\pm$ 3,50	32,86 $\pm$ 2,33

MT- Massa total; CP- Comprimento padrão.

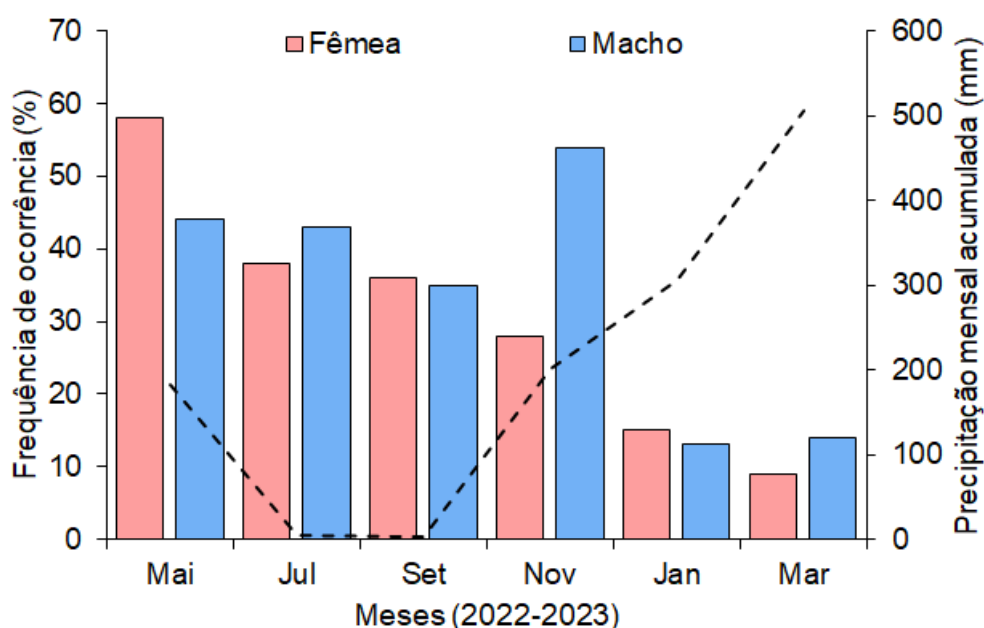


Figura 2- Proporção sexual de *H. collettii* coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. A linha tracejada representa a precipitação mensal acumulada

Para fêmeas de *H. collettii*, foram encontrados cinco estágios de maturação gonadal, sendo estes imaturo, em maturação, maduro, desovado e em repouso, já os machos foram encontrados os

estágios de maturação imaturos, em maturação e maduro (Fig.3). A variação da frequência dos estágios, demonstrou prevalência de indivíduos maduros em janeiro (fêmeas= 100%; machos= 61,5%) e março (fêmeas= 44,4%; machos= 57,1%). Indivíduos imaturos obtiveram maior frequência em setembro (fêmeas= 66,6%; machos= 77,1%), e em maturação predominou em março (fêmeas= 11,1) e novembro (machos= 74%). As fêmeas em desova foram frequentes em março (22%), e o estágio de repouso foi encontrado em todos os meses de estudo, maio (38,5%), julho (50%), setembro (33,3%), novembro (35,7%) e março (11,1%) (Fig. 4).

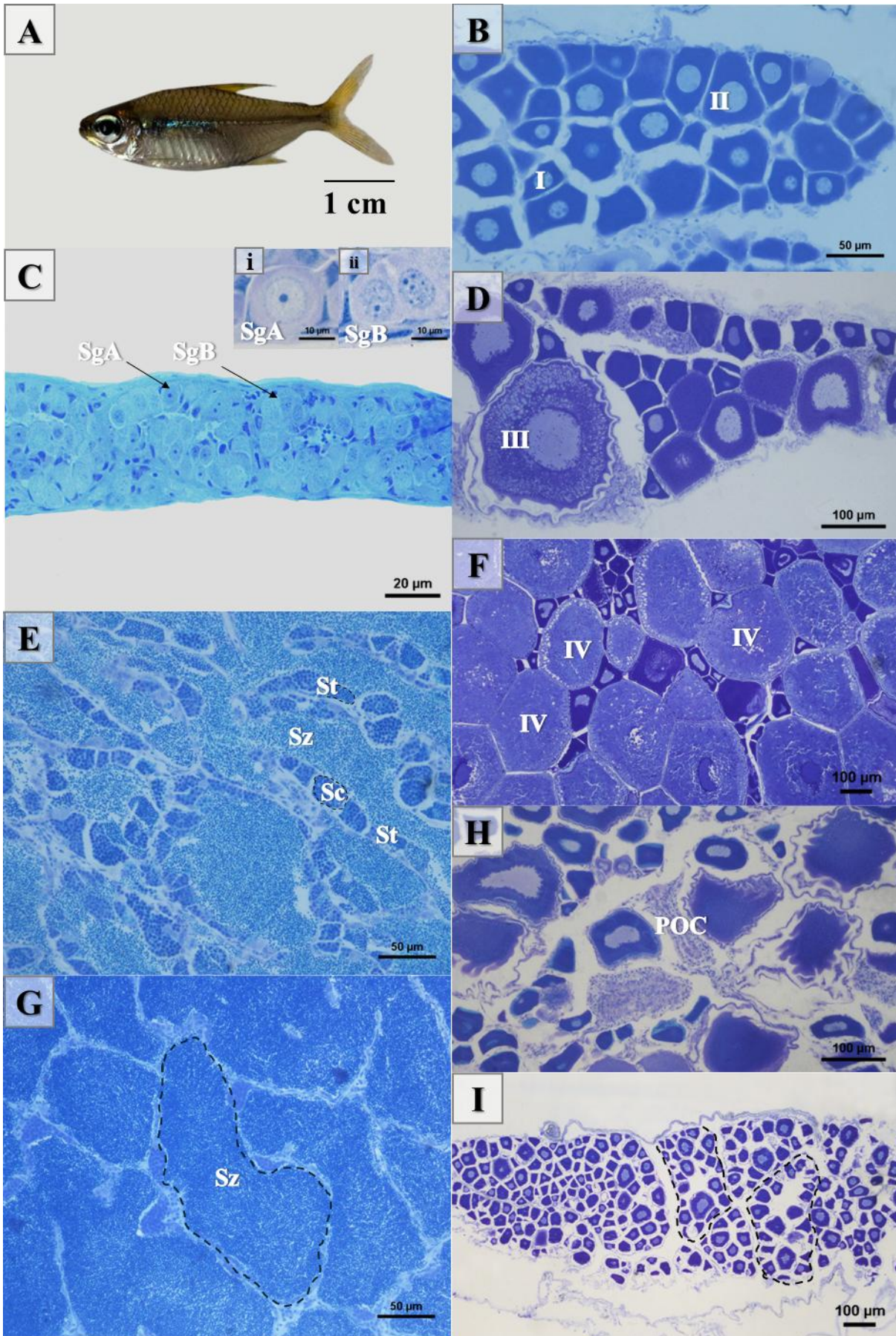


Figura 3- A- Indivíduo adulto de *H. collettii*; B- Ovário imaturo; C- Testículo imaturo, Ci- Espermatogônia A, Cii- Espermatogônia B; D-Ovário em maturação; E-Testículo em maturação; F- Ovário maduro; G-Testículo maduro; H-Ovário desovado; I- Ovário em repouso; I'-Oócito tipo I; II- Oócito tipo II; III- Oócito tipo III; IV- Oócito tipo IV; POC- Complexo pós-ovulatório; SgA- Espermatogônia A; SgB- Espermatogônia B; Sc-Espermatócito; St- Espermátide; Sz- Espermatozoides; **Linha tracejada-** G- Túbulos seminíferos; I- Lamelas ovígeras.

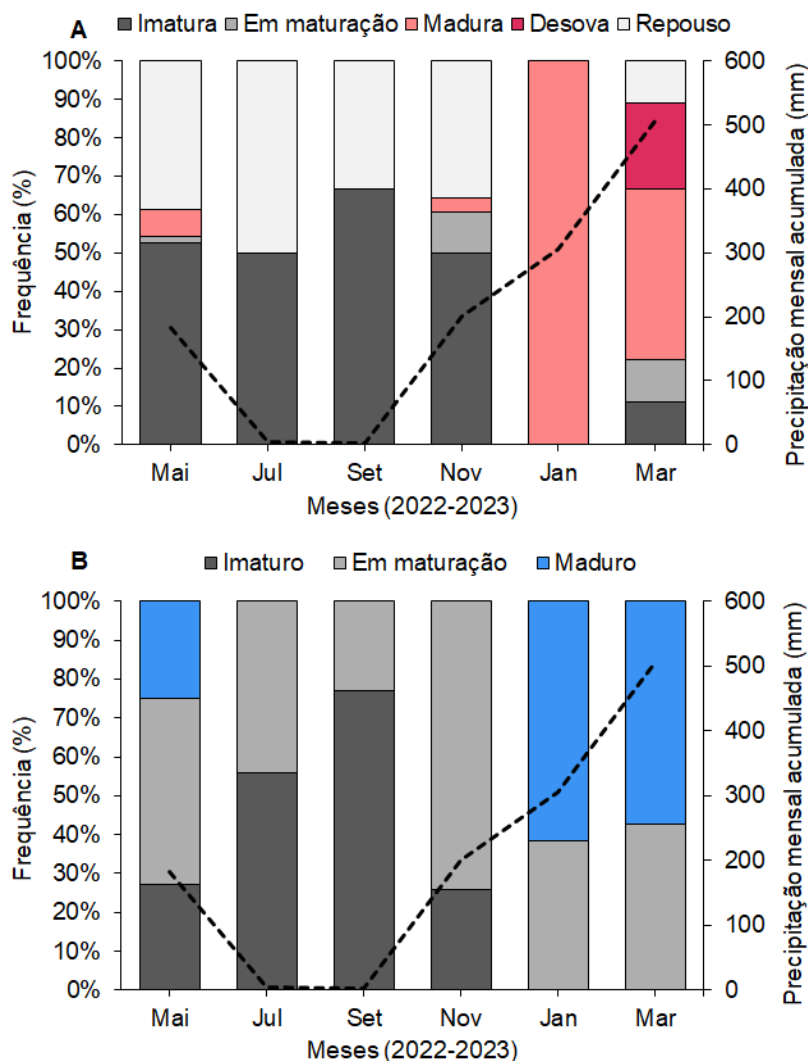


Figura 4- Estágios de maturação para fêmeas (A) e machos (B) de *H. collettii* coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. A linha tracejada representa a precipitação mensal acumulada.

O tamanho médio da primeira maturação sexual diferiu entre fêmeas e machos. O L_{50} de fêmeas foi de 32,58 mm (Fig. 5A), e o L_{50} de machos foi 27,6 mm (Fig. 5B), sendo 4,98 mm menor que o tamanho das fêmeas.

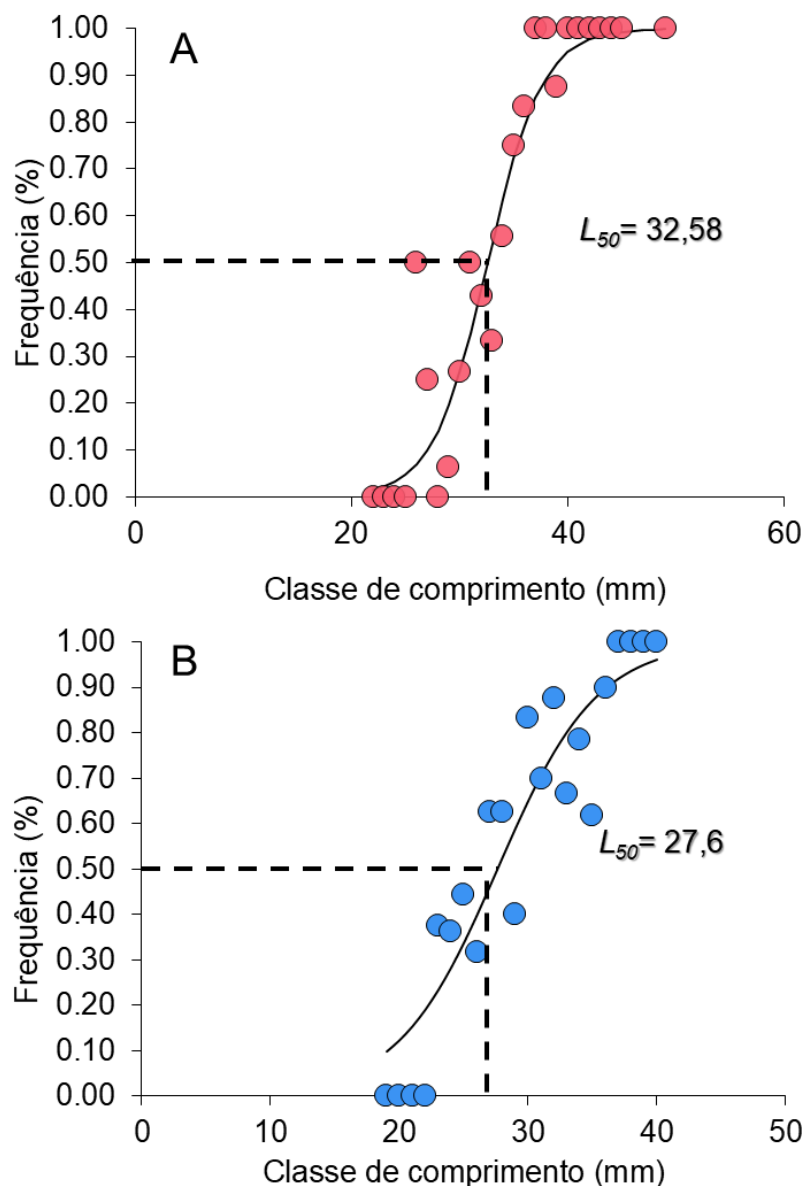


Figura 5- Estimativa de comprimento de maturação sexual (L_{50}) para fêmeas (A) e machos (B) de *H. collettii* coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

Baseado no Índice Gonadosomático, a atividade de maturação gonadal de *H. collettii* variou para fêmeas ($H_{(5,178)} = 102,34$; $p < 0,05$) (Fig. 6A), e machos ($H_{(5,174)} = 93,434$; $p < 0,05$) (Fig. 6B) ao longo dos meses. Os espécimes apresentaram maior atividade de maturação gonadal nos meses de janeiro e março de 2023, com declínio dessa atividade durante julho e setembro. De acordo com o teste de comparação múltipla, em relação as fêmeas, janeiro, mês de altas precipitações, diferiu de maio, julho, setembro e novembro ($p < 0,05$), assim também, setembro, mês de menor nível de

precipitação, diferiu de todos os meses ($p<0,05$). Para machos, janeiro e março, diferiram de maio, julho e setembro ($p<0,05$), enquanto, julho, mês de baixa precipitação, diferiu dos meses de janeiro, março, maio e novembro ($p<0,05$).

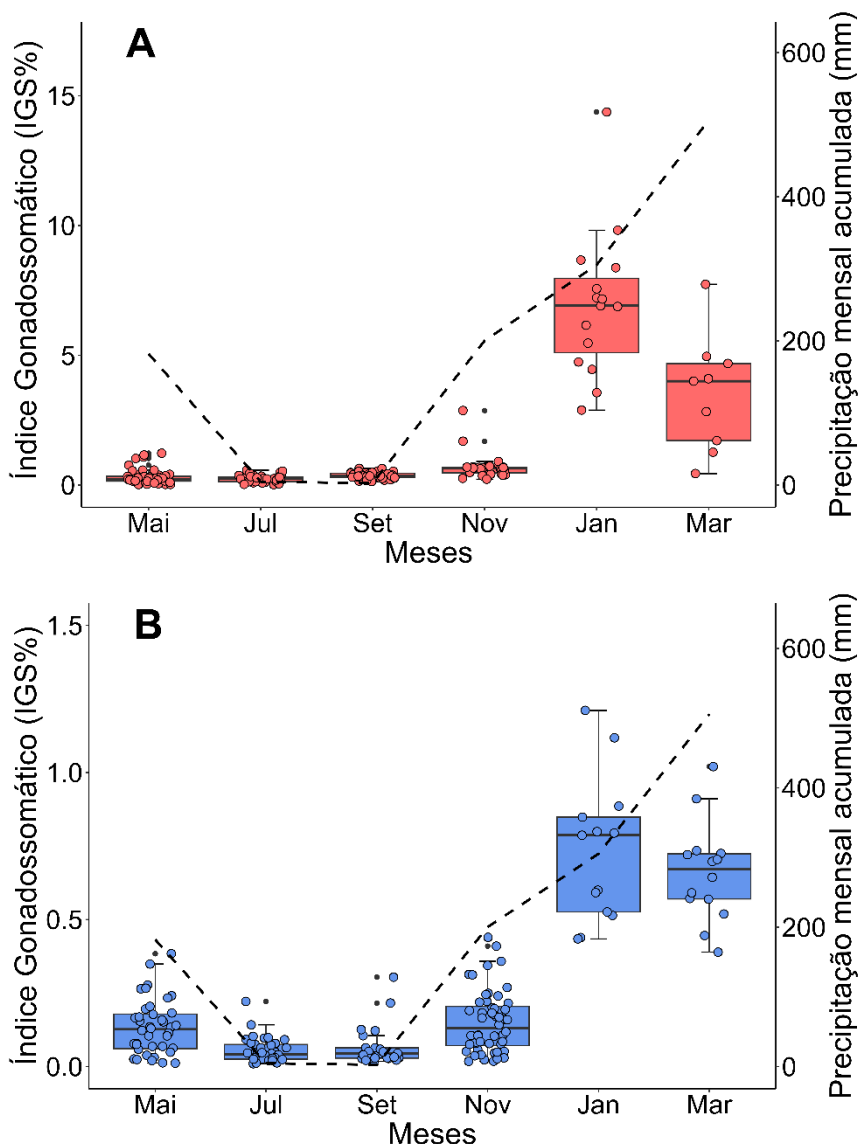


Figura 6- Variação bimestral do índice gonadosomático em fêmeas (A) e machos (B) de *H. collettii*, coletados entre maio de 2022 e março de 2023, na bacia do rio Capim, Pará, Brasil. A linha tracejada representa a precipitação mensal acumulada.

Para fêmeas maduras, o número de oócitos totais variou de 429 a 1545 (652 ± 309 ; $n = 10$), com diâmetro de 0,109 mm a 1,154 mm. Além de apresentar oócitos em diferentes estágios de desenvolvimento, observados de maneira macroscópica e histológica, foi possível observar um padrão bimodal na distribuição da frequência dos oócitos (Fig.7), com um desenvolvimento sincrônico em dois grupos, sugerindo uma desova total. A fecundidade média foi de 558 oócitos maduros, variando de 282 a 1456, em que o diâmetro dos oócitos variou de 0,419 mm a 1,154 mm.

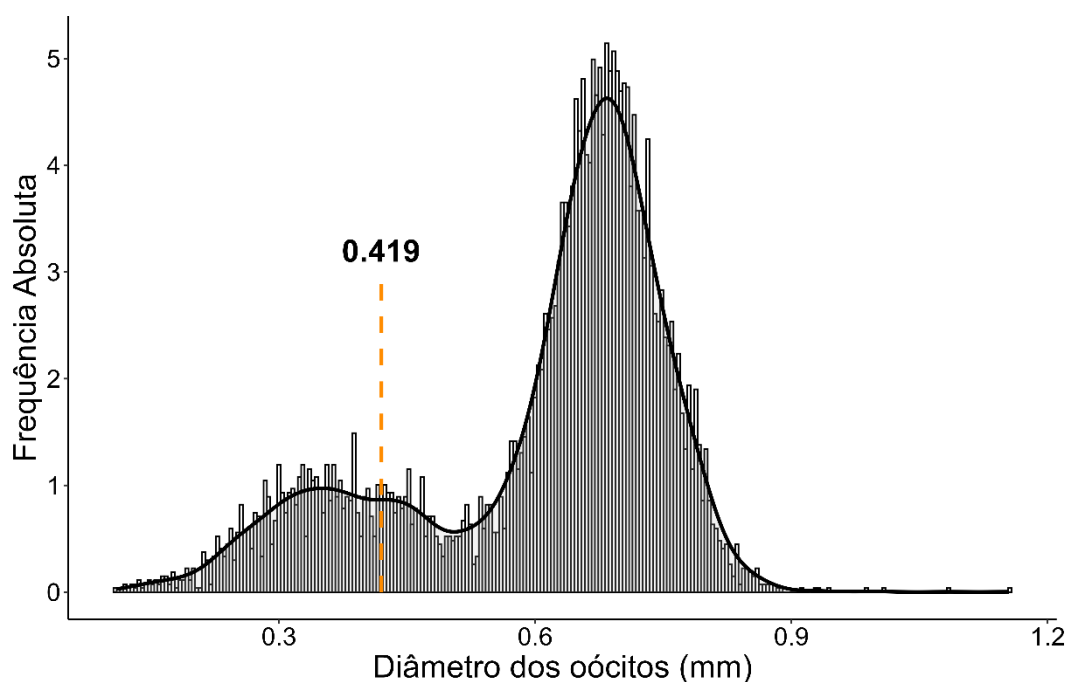


Figura 7- Variação do diâmetro dos oócitos de *H. collettii* coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

Baseado na relação peso-comprimento, foi possível observar que fêmeas e machos apresentaram padrões de crescimento distintos, em que as fêmeas (Fig. 8A; B) evidenciaram um crescimento alométrico positivo ($Mt = 0.0000129 * Cp^{3.13}$; $R^2 = 0,94$), podendo indicar maior incremento proporcionalmente em peso do que em comprimento. No caso dos machos (Fig. 8C; D), foi evidenciada uma alometria negativa ($Mt = 0.0000235 * Cp^{2.94}$; $R^2 = 0,94$), possivelmente indicando maior incremento proporcionalmente em comprimento do que em peso.

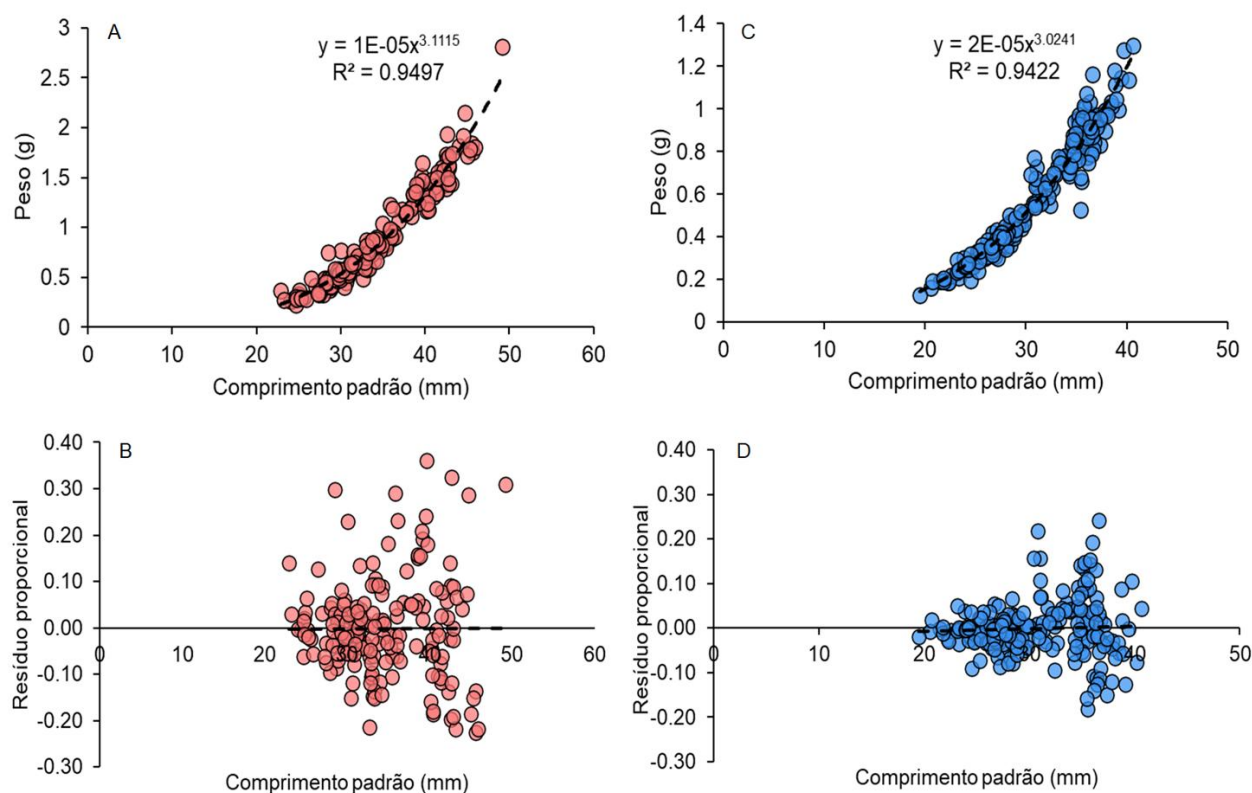


Figura 8- Relação peso-comprimento e distribuição dos resíduos proporcionais para fêmeas (A e B) e machos (C e D) de *H. collettii* coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

O fator de condição alométrico (K) de *H. collettii* variou ao longo dos meses, para fêmeas ($H_{(5,178)} = 39,078$; $p < 0,05$) (Fig.9A) e machos ($H_{(5,197)} = 33,666$; $p < 0,05$) (Fig.9B). Baseado no teste de comparação múltipla, para fêmeas os valores de K de janeiro diferiram dos meses de maio, julho e setembro ($p < 0,05$), que possuem níveis de precipitação inferiores, do mesmo modo, novembro, mês em que a chuva retorna a sua intensidade, diferiu de setembro ($p < 0,05$). Em relação aos machos, os valores de K de setembro, mês com menor nível de precipitação, apresentaram diferenças quando testados em comparação com os de todos os outros meses ($p < 0,05$).

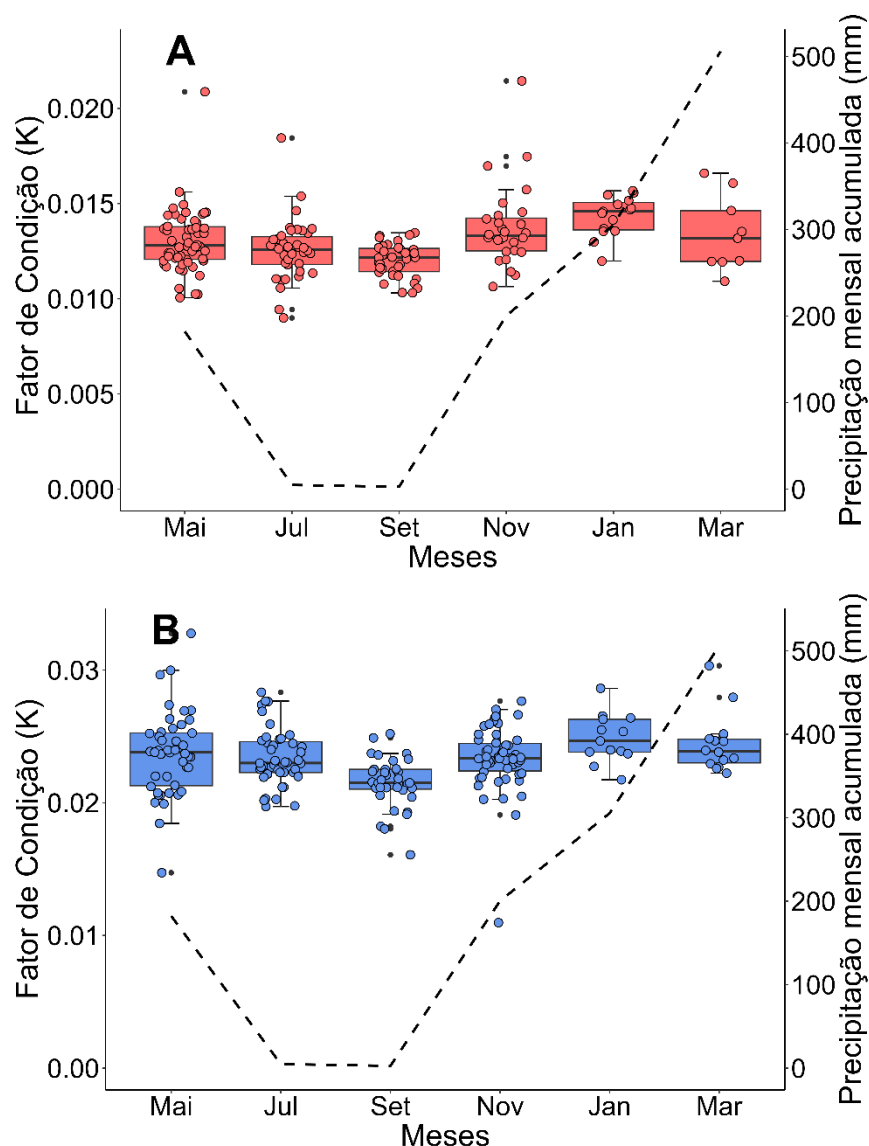


Figura 9- Variação bimestral do Fator de Condição (K) de *H. collettii* coletados entre maio de 2022 e março de 2023 na bacia do rio Capim, Pará, Brasil.

Com base no Critério de Informação de Akaike (AIC) (Tabela 3). Para as fêmeas, o modelo com melhor ajuste ($AIC = 92,545$) indicou que as variáveis precipitação, pH, condutividade, vazão e temperatura, explicaram 67,76 % da variação nos valores de IGS% ($R^2 = 0,6776$), todas com efeito significativo ($p < 0,05$), com exceção da vazão ($p > 0,05$) (Tabela 2). Em relação aos machos, o modelo com menor AIC ($AIC = -388,64$) apontou que variáveis precipitação, pH, e velocidade foram as variáveis que melhor explicaram a variação do IGS%, com $R^2 = 0,5895$, todas com efeito significativo ($p < 0,05$). Para as fêmeas, precipitação e condutividade tiveram efeito positivo, e pH, vazão e temperatura efeito negativo. E para os machos, somente a precipitação apresentou efeito positivo, enquanto pH e velocidade tiveram efeito negativo.

Tabela 3- Resultado de modelos lineares generalizados (GLM) entre as variáveis ambientais, com IGS% de fêmeas e machos de *H. collettii* como variável resposta, coletados entre maio de 2022 e março de 2023.

Variável resposta	GLM	Variáveis	β	DP de β	t	P
IGS de Fêmeas	$R^2 = 0,6776$	Intercept	4.935	2.634	1.873	0.062
		Precipitação	0.008	0.0006	13.835	p<0,01
		pH	-0.920	0.155	-5.904	p<0,01
		Condutividade	0.091	0.021	4.304	p<0,01
		Vazão	-0.074	0.046	-1.603	0.110
		Temperatura	-0.21	0.091	-2.318	p<0,01
IGS de Machos	$R^2 = 0,5895$	Intercept	-0.003	0.727	-0.005	0.995
		Precipitação	0.006	0.0004	14.190	p<0,01
		pH	-0.613	0.160	-3.829	p<0,01
		Velocidade	-1.074	0.486	-2.207	p<0,01

DISCUSSÃO

Durante o período estudado, *Hemigrammus collettii* apresentou atividade reprodutiva associada às dinâmicas de precipitação, em que os indivíduos maduros foram observados nos períodos de maior pluviometria, e a maior porcentagem de indivíduos imaturos foi encontrada em períodos de menor pluviometria. Assim como proposto por Winemiller e Rose (1992) para peixes de pequeno porte, e a partir das táticas reprodutivas apresentadas nesse estudo, *H. collettii* apresenta maior aptidão a uma estratégia reprodutiva do tipo oportunista com tendências sazonais, respondendo de maneira favorável às variações ambientais.

A proporção sexual foi significativa para a estruturação e o tamanho da dinâmica populacional, em que, em ambientes aquáticos, é esperado o equilíbrio de 1:1 entre machos e fêmeas (Vazzoler, 1996). Neste estudo, no geral não houve diferenças entre os meses amostrados como um todo, o único mês que apresentou diferenças foi novembro com índices elevados de pluviometria - 200,3 mm, com maior proporção de machos em relação a fêmeas. No geral, essa proporção pode variar ao longo do ciclo de vida dos peixes, seja durante a fertilização ou durante o desenvolvimento embrionário em decorrência de diferentes componentes ambientais (Geffroy & Douhard, 2019). No caso de *H. collettii*, essa diferença também pode estar relacionada a questões comportamentais, de acordo com estudos realizados (Fagundes et al., 2020), associadas à ocorrência de fêmeas em micro-

habitats distintos. Esse padrão de maior proporção de machos também pode ser observado em outros peixes tropicais de pequeno porte, como o *Hyphessobrycon heterorhabdus* (Oliveira et al., 2023).

As fêmeas de *H. collettii* apresentaram tamanho de primeira maturação maior do que os machos. Alguns autores descrevem que esse comportamento é comum em diversos peixes de pequeno porte (Mazzoni et al., 2002; López-Rodríguez et al., 2021). Há relatos da maior necessidade de investimento energético no crescimento corporal e celomático para ceder espaço ao crescimento da gônada (Liu et al., 2025), além da maturação dos oócitos e desenvolvimento de reservas nutricionais para os futuros embriões (Wootton & Smith, 2014). Nesse sentido, é provável que as fêmeas precisem de maior quantidade de recurso nutricional para agregar as reservas de energia e iniciar o período reprodutivo.

A estratégia de desova de uma espécie é resultado da combinação entre o padrão de desenvolvimento dos oócitos, a frequência das desovas e o número de períodos reprodutivos ao longo de sua vida (Vazzoler, 1996). Observou-se, em *H. collettii*, um tipo de desenvolvimento sincrônico em dois grupos, a cada período apenas um lote de oócitos é eliminado, caracterizando uma desova total. Esse tipo de tática geralmente é descrita para espécies migradoras e periódicas, com tendências a variações sazonais bem delimitadas (Winemiller & Rose, 1992), no entanto, o padrão que encontramos para peixes de pequeno porte de riachos são desovas parceladas (López-Rodríguez et al., 2021; Oliveira et al., 2023). O comportamento de *H. collettii* pode estar relacionado à procura por ambientes produtivos, em condições mais estáveis, proporcionada pelas chuvas locais, onde há abundância de alimentos e abrigos para estágios iniciais de vida (Winemiller et al., 2008; Gonçalves et al., 2013).

Observamos que a fecundidade média de *H. collettii* foi de 558 oócitos maduros, considerada superior quando comparada a outra espécie do mesmo gênero, *Hemigrammus bleheri* na bacia do rio Negro (Anjos et al., 2017). O diâmetro médio variou de 0,419 a 1,154 mm, valor superior aos Characiformes *Hyphessobrycon eques* (0,05 a 0,82 mm) (Santana et al., 2019) e *Hyphessobrycon heterorhabdus* (0,242 a 0,650 mm) (Oliveira et al., 2023). A fecundidade pode variar conforme as condições ambientais, regime hidrológico, disponibilidade de alimento, e sua interação com as características de cada espécie, sejam essas genéticas, fisiológicas ou conforme a idade e tamanho (Wootton, 1984; Ogunola et al., 2018), onde, geralmente indivíduos maiores conseguem sustentar maiores custos energéticos associados à produção de gametas (Lowerre-Barbieri et al., 1998; Stearns, 2000).

Um indicador que pode ser considerado sobre o estado fisiológico dos peixes e bem-estar físico dos indivíduos em relação ao ambiente e suas oscilações é o fator de condição (Almeida et al., 2025). Nesse estudo, os valores de *K* de *H. collettii* de fêmeas e machos apresentaram padrões comportamentais semelhantes quando comparados à variação pluviométrica, em que os maiores

valores médios são encontrados nos meses de maior precipitação, maio, novembro, janeiro e março. Por outro lado, as fêmeas embora tenham exibido K variando ao longo dos meses, os dados se mantem muito próximos sugerindo um investimento contínuo ao longo do período amostrado. Essa estratégia pode se dar ao fato de maior investimento das fêmeas no desenvolvimento gonadal (Wootton & Smith, 2014), uma vez que a reprodução se torna um processo mais custoso, resultando em uma alocação diferencial de energia entre crescimento, manutenção e reprodução em relação aos machos (Wootton, 1990).

Para ambos os sexos, os valores de IGS% mais elevados foram observados nos períodos de maior precipitação. Foi possível constatar que precipitação e condutividade, com efeito positivo, pH e com efeito negativo, pH, temperatura e velocidade foram as variáveis ambientais com maior efeito preditivo sobre a atividade reprodutiva de *H. collettii*, entre fêmeas (67,76%; $p < 0,05$) e machos (58,95%; $p < 0,05$). As variações pluviométricas em riachos de terra firme, em especial o regime de chuvas locais (Espírito-Santo et al., 2009), são consideradas um dos principais fatores que ocasionam variação e criação de novos habitats, resultando em estímulo para a atividade reprodutiva dos peixes (Winemiller et al., 2008). Os riachos respondem com rapidez às chuvas (Borba et al., 2021), a partir do aumento do nível da água há maior disponibilidade de abrigos e recursos alóctones (Vannote et al., 1980), esta condição pode significar uma condição ótima para o desenvolvimento e reprodução de *H. collettii*, costuma ocupar a coluna d'água as margens do canal para consumir itens que flutuam na superfície (Brejão et al., 2013; Barros et al., 2024). Nesse mesmo contexto, durante períodos chuvosos, o sistema sensorial dos peixes corresponde às variações ambientais liberando hormônios que fazem parte da modulação da maturação gonadal (Alix et al., 2020), logo, compreende-se que as chuvas atuam como fator determinante entre a dinâmica dos riachos e a fisiologia reprodutiva dos peixes (Waddell & Crampton, 2020; Oliveira et al., 2023).

No geral, ambientes aquáticos amazônicos apresentam pH ácido devido à alta concentração de componentes húmicos e fúlvicos decorrente da decomposição da matéria orgânica, especialmente em riachos de água escura (Sioli, 1984). Nesse estudo, o pH apresentou efeito negativo sobre a atividade reprodutiva, do mesmo modo que outros estudos com Characiformes na Amazônia já relataram correlação negativa entre pH e hormônios envolvidos em maturação gonadal (Silva et al., 2025). O pH ácido pode alterar a disponibilidade e toxicidade de substâncias (Wang et al., 2016), impactando os peixes em níveis celulares e afetando o desenvolvimento de sua prole. Apesar disso, os peixes da região amazônica apresentam certa plasticidade ao desenvolver estratégias de sobrevivência e reprodução nesses habitats (dos Santos et al., 2020).

Variações na condutividade elétrica em riachos e rios amazônicos são frequentemente associadas ao regime hidrológico (Lowe-McConnell, 1987), onde no período chuvoso há redução na concentração de íons disponíveis na água (Wasserman et al., 2019). Os peixes podem apresentar

diferentes adaptações quanto as características químicas dos habitats aquáticos, desse modo, nossos resultados indicam que a atividade reprodutiva de *H. collettii* apresenta resposta positiva às variações de condutividade elétrica, semelhante a espécie congênere *Hemigrammus bellottii* (da Silva et al., 2026), que habita riachos de água escura. Para além da maturação gonadal, acreditamos que esse comportamento também possa estar vinculado à indução da desova desses indivíduos (Vazzoler, 1996).

Um fator relevante para a maturação gonadal de *H. collettii*, foi a temperatura com efeito negativo, a qual é um dos principais fatores ambientais que atuam nos processos de diferenciação sexual, gametogênese, desova, regulação endócrina e alocação de energia (Wootton & Smith, 2014). Apesar das temperaturas médias registradas, nesse estudo, estarem dentro de faixas consideradas ótimas para crescimento e reprodução (Marium et al., 2023), o efeito negativo para a atividade reprodutiva das fêmeas pode estar relacionado à interação dessas médias com outros fatores abióticos, como oxigênio dissolvido. Com o aumento da temperatura, a solubilidade do oxigênio pode diminuir (Yavuz, 2025), em que a hipóxia é capaz de impactar o sistema endócrino dos peixes, atrasando seu desenvolvimento gonadal, possivelmente reduzindo o sucesso da desova (Ali et al., 2022).

A precipitação, ao aumentar o volume de água depositado nos riachos influencia diretamente a vazão e a velocidade da corrente, além de ser apontado como um importante preditor para reprodução dos peixes (Lowe-McConnell, 1979). A partir dessa perspectiva, para os machos de *H. collettii* encontramos um efeito negativo da velocidade em relação a sua atividade reprodutiva, esse comportamento pode estar associado ao fato de que peixes submetidos a altas velocidades gastam mais energia e apresentam maior probabilidade a fadiga (Shiau et al., 2020), resultando em mais custos para o crescimento e maturação gonadal. Ademais, deve-se considerar as frequentes alterações nas zonas ripárias (Oliveira et al., 2026), que podem afetar a hidrologia dos riachos e a disponibilidade de alimentos para esses indivíduos (Junk et al., 2024).

Em linhas gerais, os resultados indicam que *Hemigrammus collettii* apresenta traços compatíveis com uma estratégia de vida oportunista e tendência a estratégias sazonais de Winemiller e Rose (1992), apresentando elevada dependência das variações ambientais locais, especialmente da precipitação e pH, reforçando sua vulnerabilidade a alterações no regime hidrológico de riachos amazônicos. Essa posição intermediária entre o conjunto de estratégias oportunistas e sazonais, é refletida pelo seu rápido amadurecimento e forte sincronização com eventos climáticos, além da procura por condições ótimas para sua sobrevivência, confere certa resiliência à espécie em ambientes naturalmente dinâmicos, mas também a torna sensível a distúrbios antrópicos que alteram a conectividade, a qualidade da água e a previsibilidade ambiental.

Assim, a conservação de *H. collettii* está intrinsecamente ligada à manutenção da integridade ecológica dos riachos de terra firme, incluindo a preservação da vegetação ripária, do regime natural

de chuvas, da heterogeneidade de micro-habitats e da qualidade físico-química da água. Em um cenário de intensificação das mudanças climáticas e de avanço das pressões antrópicas na Amazônia, estudos de ecologia reprodutiva como este fornecem subsídios essenciais para o monitoramento de espécies sensíveis e para a implementação de estratégias de manejo e conservação que considerem os riachos amazônicos e sua fauna como sistemas-chave para a manutenção da biodiversidade regional.

REFERÊNCIAS

- Ali, B., Anushka, & Mishra, A. (2022). Effects of dissolved oxygen concentration on freshwater fish: A review. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 10(4), 113–127. <https://doi.org/10.22271/fish.2022.v10.i4b.2693>
- Alix, M., Kjesbu, O. S., & Anderson, K. C. (2020). From gametogenesis to spawning: How climate-driven warming affects teleost reproductive biology. *Journal of Fish Biology*, 97(3), 607–632. <https://doi.org/10.1111/jfb.14439>
- Almeida, M. S., Montag, L. F. A., Oliveira, L. P., Jardim-Júnior, A. A., Penha, I. C. S., Passos, L. F. G., Fratari, M. C., Vieira, L. J. S., & Hashiguti, D. T. (2025). Length-weight relationship and condition factor of 11 fish species in streams of a protected area in the Acre River basin, northern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 85, e291756. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.291756>
- Anjos, H. D. B. dos, Yamamoto, K. C., & Magalhães, E. R. S. (2017). Biologia reprodutiva e hábitos alimentares do rodóstomo (*Hemigrammus bleheri*) um peixe ornamental da Bacia do Médio Rio Negro, Estado do Amazonas, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(1), 65–77. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2017v43n1p65>
- Barbosa, T. A. P., Prudente, B. da S., Mendonça, M. B., Salvador, G. N., Montag, L. F. de A., & Akama, A. (2024). The ichthyofauna of the Potirita River basin: Assessing the conservation status in a mining area in the Eastern Amazon. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 36, e31. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X4623>
- Barros, H. K. S., Barbosa, T. A. P., & Prudente, B. da S. (2024). Feeding ecology of *Moenkhausia collettii* (Steindachner, 1882) (Characiformes: Characidae) in streams in the eastern Amazon: Environmental factors and body size. *Journal of Fish Biology*, 104(6), 2008–2021. <https://doi.org/10.1111/jfb.15743>
- Bartoń, K. (2025). *MuMIn: Multi-Model Inference* (Versão 1.48.11) [Programa de computador]. <https://doi.org/10.32614/CRAN.package.MuMIn>

- Borba, G. C., Costa, F. R. C., Espírito-Santo, H. M. V., Leitão, R. P., Dias, M. S., & Zuanon, J. (2021). Temporal changes in rainfall affect taxonomic and functional composition of stream fish assemblages in central Amazonia. *Freshwater Biology*, 66(4), 753–764. <https://doi.org/10.1111/fwb.13675>
- Brejão, G. L., Gerhard, P., & Zuanon, J. (2013). Functional trophic composition of the ichthyofauna of forest streams in eastern Brazilian Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 11, 361–373. <https://doi.org/10.1590/S1679-62252013005000006>
- Caramaschi, É. P., & Brito, M. F. G. (2021). REPRODUÇÃO DE PEIXES DE RIACHO: ESTADO DA ARTE, MÉTODOS E PERSPECTIVAS. *Oecologia Australis*, 25(2), 343–343. <https://doi.org/10.4257/oeco.2021.2502.07>
- Castro, R. M. C., & Polaz, C. N. M. (2020). Small-sized fish: The largest and most threatened portion of the megadiverse neotropical freshwater fish fauna. *Biota Neotropica*, 20, e20180683. <https://doi.org/10.1590/1676-0611-BN-2018-0683>
- da Silva, A. V. B., de Oliveira, A. E. P., Caldas Caldas, J. P., Mendes, Y. A., Ferreira, M. A. P., & da Rocha, R. M. (2026). Aspects of the reproductive biology of tetra (*Hemigrammus bellottii*; Characiformes: Acestrorhampidae) in an area with anthropic activities in Eastern Amazon. *Environmental Biology of Fishes*, 109(2), 62. <https://doi.org/10.1007/s10641-026-01831-x>
- dos Santos, J. A., Soares, C. M., & Bialetzki, A. (2020). Effects of pH on the incubation and early development of fish species with different reproductive strategies. *Aquatic Toxicology*, 219, 105382. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.105382>
- Espírito-Santo, H. M. V., Magnusson, W. E., Zuanon, J., Mendonça, F. P., & Landeiro, V. L. (2009). Seasonal variation in the composition of fish assemblages in small Amazonian forest streams: Evidence for predictable changes. *Freshwater Biology*, 54(3), 536–548. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02129.x>

- Espírito-Santo, H. M. V., & Zuanon, J. (2017). Temporary pools provide stability to fish assemblages in Amazon headwater streams. *Ecology of Freshwater Fish*, 26(3), 475–483. <https://doi.org/10.1111/eff.12292>
- Fagundes, P., Dala-Corte, R., & Azevedo, M. (2020). Life history traits of a small-sized characid fish (*Diapoma alburnum*) in a subtropical river of Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 15, 39–48.
- Farias, R. R., López-Rodríguez, N. C., Gonçalves, L. A. B., Tavares, C. de N. da S. C., Rocha, R. M., Freitas, T. M. da S., & Montag, L. F. de A. (2025). Reproductive biology of *Copella arnoldi* (Characiformes: Lebiasinidae), a terrestrial-spawning fish from the Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 23, e240054. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2024-0054>
- Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An {R} Companion to Applied Regression* [Programa de computador]. <https://www.john-fox.ca/Companion/>
- Geffroy, B., & Douhard, M. (2019). The Adaptive Sex in Stressful Environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(7), 628–640. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2019.02.012>
- Gonçalves, C. da S., Souza, U. P., Ferreira, F. C., Peressin, A., & Braga, F. M. de S. (2013). Life-history strategies associated to reproduction of three Hyphessobrycon species (Characidae) in lentic environments of upper Paraná River basin. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 25, 398–405. <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2013000400005>
- Hashiguti F., D. T., Rocha, R. M., & Montag, L. F. A. (2017). Reproductive seasonality of the detritivorous fish *Cyphocharax abramoides* (Kner, 1958) (Characiformes: Curimatidae) in flooded rivers of the eastern Amazon. *Environmental Biology of Fishes*, 100(9), 1033–1046. <https://doi.org/10.1007/s10641-017-0609-y>
- Hortal, J., Bello, F. de, Diniz-Filho, J. A. F., Lewinsohn, T. M., Lobo, J. M., & Ladle, R. J. (2015). Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(Volume 46, 2015), 523–549. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>

- Huxley, J. S. (1924). Constant Differential Growth-Ratios and their Significance. *Nature*, 114(2877), 895–896. <https://doi.org/10.1038/114895a0>
- Junk, W. J. (1983). *Ecology of swamps on the middle Amazon* (V. 4B, p. 269–294). Elsevier Scientific Publishing Company.
- Junk, W. J., & Piedade, M. T. F. (2005). The Amazon River basin. Em L. H. Fraser & P. A. Keddy (Org.), *The World's Largest Wetlands: Ecology and Conservation* (p. 63–117). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542091.004>
- Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Schöngart, J., da Cunha, C. N., Goncalves, S. R. A., Wantzen, K. M., & Wittmann, F. (2024). Riparian wetlands of low-order streams in Brazil: Extent, hydrology, vegetation cover, interactions with streams and uplands, and threats. *Hydrobiologia*, 851(7), 1657–1678. <https://doi.org/10.1007/s10750-022-05056-8>
- Liu, Y., Xu, W., Zhang, X., Wang, J., Chen, X., Yu, X., Zeng, J., Wu, Y., & Liu, L. (2025). The molecular mechanism of ovary development in *Thamnaconus septentrionalis* induced by rising temperature via transcriptomics and metabolomics analysis. *Frontiers in Marine Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2025.1556002>
- López-Rodríguez, N. C., Leão, A. H. F., Rocha, R. M., Prudente, B. S., & Montag, L. F. A. (2021). Environmental influence on the reproductive strategy of *Helogenes marmoratus* (Siluriformes: Cetopsidae) in the Amazonian streams. *Neotropical Ichthyology*, 19, e210092. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2021-0092>
- Lowe-McConnell, R. H. (1979). *Ecology of Fishes in Tropical Waters*. Wiley Online Library. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/iroh.19790640610>
- Lowe-McConnell, R. H. (1987). *Ecological Studies in Tropical Fish Communities*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511721892>
- Lowerre-Barbieri, S. K., Lowerre, J. M., & Barbieri, L. R. (1998). Multiple spawning and the dynamics of fish populations: Inferences from an individual-based simulation model.

Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55(10), 2244–2254.

<https://doi.org/10.1139/f98-105>

Marium, A., Naz, S., Khan, M., Safdar, W., & Ashraf, I. (2023). Effect of Temperature, pH, Salinity and Dissolved Oxygen on Fishes. *Journal of Zoology and Systematic*.

<https://doi.org/10.56946/jzs.v1i2.198>

Mazzoni, R., Caramaschi, E. P., & Fenerich-Verani, N. (2002). Reproductive biology of a characidiinae (osteichthyes, characidae) from the Ubatiba river, Maricá—RJ. *Brazilian Journal of Biology*, 62, 487–494. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842002000300013>

Melo, B. F., Ota, R. P., Benine, R. C., Carvalho, F. R., Lima, F. C. T., Mattox, G. M. T., Souza, C. S., Faria, T. C., Reia, L., Roxo, F. F., Valdez-Moreno, M., Near, T. J., & Oliveira, C. (2024). Phylogenomics of Characidae, a hyper-diverse Neotropical freshwater fish lineage, with a phylogenetic classification including four families (Teleostei: Characiformes). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 202(1), zlae101.

<https://doi.org/10.1093/zoolinnean/zlae101>

Mendes, Y. A., Ferreira, M. a. P., Lobato, C. M. C., Silva, G. M. F., Montag, L. F. A., & Rocha, R. M. (2017). Reproductive characteristics of pike-characids *Boulengerella cuvieri* (Ctenoluciidae) in the middle Xingu River, Eastern Amazon. *Journal of Fish Biology*, 91(1), 346–353. <https://doi.org/10.1111/jfb.13339>

Ogunola, O. S., Onada, O. A., & Falaye, A. E. (2018). Preliminary evaluation of some aspects of the ecology (growth pattern, condition factor and reproductive biology) of African pike, *Hepsetus odoe* (Bloch 1794), in Lake Eleiyele, Ibadan, Nigeria. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 21(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0087-y>

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M., Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., Caceres, M. D., ... Weedon,

- J. (2025). *vegan: Community Ecology Package* (Versão 2.7-2) [Programa de computador].
<https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/index.html>
- Oliveira, A. E. P. de, Montag, L. F. de A., Rocha, R. M. da, López-Rodríguez, N. C., & Prudente, B. da S. (2023). Environmental predictors of the life history of the flag tetra *Hyphessobrycon heterorhabdus* (Characiformes: Characidae) in streams of the Eastern Amazon. *Neotropical Ichthyology*, 21, e220094. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2022-0094>
- Oliveira, L. P., Feio, M. J., Silva, R. S., Jardim Jr, A. A., Penha, I. C. S., Silva, A. J. P., Vieira, L. J. S., & Montag, L. F. A. (2026). Historic deforestation reaches riparian thresholds that reduce fish diversity, particularly in unprotected streams of the southwestern Amazon. *Journal of Environmental Management*, 400, 128755. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.128755>
- Pazin, V. F. V., Magnusson, W. E., Zuanon, J., & Mendonça, F. P. (2006). Fish assemblages in temporary ponds adjacent to ‘terra-firme’ streams in Central Amazonia. *Freshwater Biology*, 51(6), 1025–1037. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2006.01552.x>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Röpke, C., Pires, T. H. S., Zuchi, N., Zuanon, J., & Amadio, S. (2022). Effects of climate-driven hydrological changes in the reproduction of Amazonian floodplain fishes. *Journal of Applied Ecology*, 59(4), 1134–1145. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14126>
- Santana, C. A., Tondato, K. K., & Suárez, Y. R. (2019). Biologia Reprodutiva de *Hyphessobrycon eques* (Characiformes: Characidae) no Pantanal Sul, Brasil. *Brazilian Journal of Biology*, 79, 70–79. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.176273>
- Shiau, J., Watson, J. R., Cramp, R. L., Gordos, M. A., & Franklin, C. E. (2020). Interactions between water depth, velocity and body size on fish swimming performance: Implications

for culvert hydrodynamics. *Ecological Engineering*, 156, 105987.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105987>

Silva, B. R. M., De Oliveira, A. E. P., Nogueira da Costa de Almeida, N., Damasceno Santos, S. do S., da Rocha, R. M., & Ferreira, M. A. P. (2025). Integrated use of histological and hormonal biomarkers to assess metal contamination in *Leporinus friderici* from mining areas in the Amazon. *Chemosphere*, 387, 144673.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144673>

Sioli, H. (1984). The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. Em H. Sioli (Org.), *The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin* (p. 127–165). Springer Netherlands.

https://doi.org/10.1007/978-94-009-6542-3_5

Stearns, S. C. (2000). Life history evolution: Successes, limitations, and prospects.

Naturwissenschaften, 87(11), 476–486. <https://doi.org/10.1007/s001140050763>

Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummings, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130–137.

Vazzoler, A. E. A. M. (1996). *Biologia da reprodução de peixes teleósteos: Teoria e prática* | Eduem—Editora da UEM. <http://old.periodicos.uem.br/~eduem/novapagina/?q=node/673>

Verissimo, A., Barreto, P., Mattos, M., Tarifa, R., & Uhl, C. (1992). Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: The case of Paragominas. *Forest Ecology and Management*, 55(1), 169–199. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(92\)90099-U](https://doi.org/10.1016/0378-1127(92)90099-U)

Waddell, J. C., & Crampton, W. G. R. (2020). Environmental correlates of circannual breeding periodicity in a multi-species assemblage of Amazonian electric fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 103(3), 233–250. <https://doi.org/10.1007/s10641-020-00950-3>

- Wang, Z., Meador, J. P., & Leung, K. M. Y. (2016). Metal toxicity to freshwater organisms as a function of pH: A meta-analysis. *Chemosphere*, *144*, 1544–1552.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.032>
- Wasserman, J. C., Damaceno, V. M., Lima, G. B. A., & Wasserman, M. A. (2019). Spatial distribution of water quality in the Amazonian region: Implications for drinking water treatment procedures. *Journal of Water and Health*, *17*(5), 749–761.
<https://doi.org/10.2166/wh.2019.005>
- Winemiller, K. O., Agostinho, A. A., & Caramaschi, É. P. (2008). Fish Ecology in Tropical Streams. Em D. Dudgeon (Org.), *Tropical Stream Ecology* (p. 107–III). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-012088449-0.50007-8>
- Winemiller, K. O., & Rose, K. A. (1992). Patterns of Life-History Diversification in North American Fishes: Implications for Population Regulation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *49*(10), 2196–2218. <https://doi.org/10.1139/f92-242>
- Wootton, R. J. (1984). Reproduction. Em R. J. Wootton (Org.), *A Functional Biology of Sticklebacks* (p. 103–154). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8513-8_7
- Wootton, R. J. (1990). Reproduction. Em R. J. Wootton (Org.), *Ecology of Teleost Fishes* (p. 159–195). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-0829-1_7
- Wootton, R. J., & Smith, C. (2014). Reproduction and life-history evolution. Em *Reproductive Biology of Teleost Fishes* (p. 323–356). John Wiley & Sons, Ltd.
<https://doi.org/10.1002/9781118891360.ch11>
- Yavuz, V. S. (2025). Impact of temperature and flow rate on oxygen dynamics and water quality in major Turkish rivers. *Scientific Reports*, *15*(1), 22830. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-06433-8>