

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E
ENGENHARIA DE PESCA

THAYS CRISTINE BELLENZIER DE QUEIROZ

TRANSPORTE DE OVOS E COMPORTAMENTO LARVAL DE *Prochilodus lineatus* (VALENCIENNES, 1836) EM CANAL SIMULADOR DE DERIVA

Toledo

2019

THAYS CRISTINE BELLENZIER DE QUEIROZ

TRANSPORTE DE OVOS E COMPORTAMENTO LARVAL DE *Prochilodus lineatus* (VALENCIENNES, 1836) EM CANAL SIMULADOR DE DERIVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Área de concentração: Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Vanderlei Sanches

Toledo

2019

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Queiroz, Thays Cristine Bellenzier de
Transporte de ovos e comportamento larval de
Prochilodus lineatus (VALENCIENNES, 1836) em canal
simulador de deriva / Thays Cristine Bellenzier de
Queiroz; orientador(a), Paulo Vanderlei Sanches, 2019.
26 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste
do Paraná, Campus de Toledo, Centro de Engenharias e
Ciências Exatas, Graduação em Engenharia de Pesca Programa
de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de
Pesca, 2019.

1. Deriva. 2. Ictioplâncton. 3. Prochilodus lineatus. 4.
Velocidades de fluxo. I. Sanches, Paulo Vanderlei. II.
Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

THAYS CRISTINE BELLENZIER DE QUEIROZ

TRANSPORTE DE OVOS E COMPORTAMENTO LARVAL DE *Prochilodus lineatus* (VALENCIENNES, 1836) EM CANAL SIMULADOR DE DERIVA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca – Mestrado e Doutorado, do Centro de Engenharias e Ciências Exatas, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca.

Prof. Dr. Paulo Vanderlei Sanches

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Presidente)

Prof. Dr. Pitágoras Augusto Piana

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Dr. Pablo Henrique dos Santos Picapedra

PNPD – PREP - Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Aprovada em: 05 de setembro de 2019.

Local de defesa: Auditório do GERPEL – UNIOESTE /*Campus* de Toledo.

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre me deram forças para que tudo acontecesse.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Ivone e Jorge, que estiveram ao meu lado nos momentos de dificuldade e me mostraram que não deveria desistir, além de acreditar em mim e mostrar que sou forte sim. E mãe, obrigada pelas madrugadas rodando experimento comigo, você é a pessoa mais incrível da minha vida!

Agradeço aos meus avós, principalmente meu avô Sady, que no auge dos seus quase 90 anos, foi meu “quebra-galho” e me socorreu com todos os problemas elétricos e hidráulicos que apareceram no meio do caminho.

Agradeço aos amigos que nunca duvidaram de mim e me apoiaram em todos os momentos, seja de perto ou de longe, Beatriz, Vanessa, Gabi, Ana, Rafael, Maiko e Fabi.

Agradeço também aos amigos que foram parceiros nos experimentos, Guido, Patrícia e Hudson, obrigada imensamente por terem paciência, pois sei que não foi fácil passarem horas sentados cronometrando e escrevendo...

Agradeço ao meu orientador por toda paciência e incentivo, sempre acreditando mais em mim do que eu mesma.

Agradeço ao Adilar e Bruno Venites, por fornecerem os ovos e se disporem a que eu necessitasse para realizar o experimento.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo fomento deste trabalho.

Agradeço ao Programa de Pós Graduação em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca, Unioeste, *campus* Toledo.

TRANSPORTE DE OVOS E COMPORTAMENTO LARVAL DE *Prochilodus lineatus*
(VALENCIENNES, 1836) EM CANAL SIMULADOR DE DERIVA

RESUMO

Este estudo teve por objetivo avaliar a deriva dos ovos e o comportamento de larvas de corimba (*Prochilodus lineatus* VALENCIENNES, 1836) frente diferentes velocidades de fluxo em um canal simulador de deriva (CSD). Para o experimento foram determinadas as velocidades de fluxo, sendo, 0,032 m/s, 0,044 m/s, 0,068 m/s e 0,081 m/s. Os ovos e larvas utilizados foram obtidos de desovas induzidas e acondicionados em incubadora cônico-cilíndrica de fibra de vidro de 200 litros, com circulação constante de água, à uma temperatura média de 21,6°C. Os ovos passaram pelo canal a cada 4 horas e as larvas a cada 8 horas a partir da eclosão, até atingirem 16 horas de desenvolvimento então, os testes passaram a ser efetuados em intervalos de 12 horas. Nas amostragens foram utilizados 10 indivíduos (réplicas) para cada uma das 4 velocidades de fluxo testadas, onde se observou a velocidade e a distância de transporte e o comportamento natatório das larvas. O transporte dos ovos de *P. lineatus* durante o experimento foi proporcional ao aumento do fluxo, ficando em sua maioria próxima à superfície. Logo após a eclosão as larvas já procuraram se posicionar contra o fluxo dentro do canal indicando que mesmo pouco desenvolvidas tem a percepção de posição e orientação. As maiores velocidades de transporte das larvas ocorreram nos tempos iniciais de desenvolvimento, sendo completamente transportadas ou seguindo o sentido do fluxo (reotaxia negativa). Desta maneira, baseado nos dados obtidos neste estudo, podemos concluir que ambientes cuja velocidade de fluxo seja inferior a 0,044 m/s não são favoráveis à deriva de ovos de *P. lineatus*, enquanto que velocidades acima de 0,081 m/s proporcionam maiores probabilidades de sucesso no transporte dos ovos para as áreas à jusante. Podemos concluir ainda que as larvas apresentaram comportamento ativo desde as primeiras horas de desenvolvimento com comportamento similar ao apresentado em ambiente natural e que a partir de 48 horas pós-eclosão já são capazes de se manterem e dispersarem contra o fluxo dentro do canal.

Palavras-chave: Deriva; Ictioplâncton; Ovos e larvas de peixes; *Prochilodus lineatus*; Velocidades de fluxo.

EGG TRANSPORT AND LARVAL BEHAVIOR OF *Prochilodus lineatus*
(VALENCIENNES, 1836) IN A DRIFT SIMULATOR CHANNEL

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the egg drift and the behavior of corimba larvae (*Prochilodus lineatus* VALENCIENNES, 1836) against different flow velocities in a drift simulator channel (DSC). For the experiment, the flow velocities were determined, being: 0.032 m/s, 0.044 m/s, 0.068 m/s and 0.081 m/s. The eggs and larvae used in the experiment were obtained from induced spawning and stored in a 200 liter conical-cylindrical fiberglass incubator with constant water circulation, at an average temperature of 21.6°C. The eggs passed through the canal every 4 hours and the larvae every 8 hours from hatching until they reached 16 hours of development. Tests were then performed at 12-hour intervals. In the samples, 10 individuals (replicates) were used for each of the 4 flow velocities tested, where the speed and the transport distance and the swimming behavior of the larvae were observed. The transport of *P. lineatus* eggs during the experiment was proportional to the increase of the flow, being mostly near the surface. Soon after hatching, the larvae have already tried to position themselves against the flow within the canal, indicating that even the poorly developed ones have position and orientation perception. Larger transport velocities occurred during early developmental periods, being completely transported or following the direction of flow (negative reotaxis). Thus, based on the data obtained in this study, we can conclude that environments whose flow velocity is less than 0.044 m/s are not favorable for *P. lineatus* egg drift, while velocities above 0.081 m/s provide higher probabilities of successfully transporting eggs to downstream areas. We can also conclude that the larvae showed active behavior from the first hours of development with behavior similar to that presented in a natural environment and that after 48 hours after hatching they are able to maintain and disperse against the flow within the channel.

Keywords: Drifting; Fish eggs and larvae; Flow velocities; Ichthyoplankton; *Prochilodus lineatus*.

Dissertação elaborada e formatada conforme as normas da publicação científica *Journal of Fish Biology*. Disponível em: <onlinelibrary.wiley.com/page/journal/10958649/homepage/forauthors.html>*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.1 Estrutura e Funcionamento do Canal Simulador de Deriva (CSD)	9
2.2 Experimento.....	10
2.3 Análise dos Dados.....	11
3. RESULTADOS	11
4. DISCUSSÃO	14
5. REFERÊNCIAS.....	18

1. INTRODUÇÃO

O estudo sobre a deriva de ovos e larvas permite gerar informações importantes, como a determinação das velocidades mínimas de fluxo necessárias para o transporte das áreas de desova até as áreas de desenvolvimento, além de identificar os efeitos das características hidrológicas (velocidade e direção de fluxo) sobre a dinâmica das assembleias ictioplanctônicas (Pavlov *et al.*, 2017). Neste sentido, é importante entender como o transporte de ovos e larvas é influenciado não só pelas características biológicas, como taxa de crescimento, diâmetro, densidade dos ovos e potencial natatório das larvas, mas também pela hidrodinâmica e características ambientais da massa de água na qual eles estão à deriva (Garcia *et al.*, 2013).

O conhecimento sobre o modo comportamental e o padrão de movimento associado, que provavelmente determinarão a trajetória real da natação, a velocidade de transporte e o destino da deriva das larvas de peixes nos rios e sua relação com a morfologia das larvas é urgentemente necessário (Pavlov *et al.*, 2008; Lechner *et al.*, 2016). É indispensável tentar entender, modelar ou prever padrões de transporte de larvas de peixes em rios e todos os outros tipos de águas em movimento (Lechner *et al.*, 2016), pois o conhecimento possibilita a maior compreensão da dinâmica populacional, para a proteção ambiental e conservação de espécies, para o manejo de pesca e ecologia de restauração.

As relações entre os peixes e o fluxo de água interessam a pesquisadores há séculos (Lacey *et al.*, 2012), pois o movimento é um processo fundamental na vida de praticamente todos os organismos (Nathan *et al.*, 2008). A deriva dos estágios iniciais do ciclo de vida dos peixes (ovos, embriões livres, larvas) dos locais de desova aos habitats de desenvolvimento inicial, como planícies de inundação e áreas de várzea (Barros e Rosman, 2018), afeta a sobrevivência e a aptidão do indivíduo e, conseqüentemente a probabilidade de conclusão do ciclo de vida (Daewel *et al.*, 2011; Hinrichsen *et al.*, 2012). Estudos evidenciaram ainda que a dispersão larval não é apenas um processo passivo (Schludermann *et al.*, 2012), porém, os mecanismos detalhados da desse processo encontram-se obscuros já que o comportamento individual não foi investigado, necessitando uma melhor compreensão da relação entre o desempenho da natação e a morfologia corporal dos peixes (Assumpção *et al.*, 2012).

Outra aplicabilidade das informações geradas por estudos desta natureza é a determinação da velocidade mínima e a distância necessária para que os ovos e as larvas sejam transportados em trechos fluviais de reservatórios (Agostinho *et al.*, 2007), bem como as

influências dos picos de fluxo à jusante da barragem, causados pela operação das hidrelétricas.

Devido à redução das velocidades de fluxo devido a formação do reservatório (Agostinho *et al.*, 2007; Pavlov *et al.*, 2017), os ovos das espécies que não possuam adaptações que auxiliam na flutuabilidade (por exemplo, gotículas de óleo no vitelo) como o caso das migradoras, possivelmente decantarão para regiões profundas do reservatório onde a concentração de oxigênio é baixa e as chances de sobrevivência desses organismos são pequenas (Agostinho *et al.*, 2007). Mesmo sabendo-se que alguns reservatórios apresentam elevado fluxo (principalmente pequenos reservatórios a fio d'água) com baixo tempo de residência da água, atualmente não é possível afirmar se estas condições de fluxo poderiam proporcionar o transporte de ovos e larvas necessário para maximizar a sua sobrevivência nesse tipo de ambiente (Schludermann *et al.*, 2012; Pavlov *et al.*, 2017).

A presença de reservatórios também altera o regime de cheias e influencia diretamente a reprodução das espécies migradoras, tendo influência direta na pesca. Seis das dez espécies de interesse para a pesca na região do reservatório de Itaipu são espécies migratórias que usam trechos livres acima do reservatório para desova e desenvolvimento inicial (Agostinho *et al.*, 2001).

Prochilodus lineatus, espécie alvo deste estudo, é um peixe migrador de longas distâncias (Agostinho *et al.*, 2007; Makrakis *et al.*, 2012), nativo do rio Paraná (Graça e Pavanelli, 2007) considerado muito importante na pesca da região do rio Paraná (Agostinho *et al.*, 2003). Esta espécie depende dos pulsos de inundação para completar seu ciclo de vida (Gubiani *et al.*, 2007), altas correlações entre o regime de cheias e o rendimento pesqueiro no reservatório de Itaipu foram observadas (Gomes e Agostinho, 1997).

Embora no hemisfério norte estudos utilizando simuladores de deriva para análise de picos de fluxo (Bradford, 1997; Halleraker *et al.*, 2003) e pulsos de inundação (Cocherell *et al.*, 2012; Chun *et al.*, 2011) sejam comuns, para a região Neotropical (especialmente no Brasil) não existem registros de estudos desta natureza. Assim, assumindo o pressuposto de que o ciclo de vida de espécies peixes migradores é dependente das características e velocidades de fluxo presente nos rios, este trabalho teve o objetivo de avaliar o transporte dos ovos e o comportamento de larvas de *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836), frente a diferentes velocidades de fluxo em um canal simulador de deriva. Pretendemos com este estudo responder: *i*) Qual a velocidade mínima de fluxo necessária para que os ovos sejam transportados; *ii*) Como as larvas de *P. lineatus* se comportarão frente às diferentes

velocidades de fluxo e *iii*) Em qual tempo de desenvolvimento as larvas apresentarão natação ativa (reotaxia positiva).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Estrutura e Funcionamento do Canal Simulador de Deriva (CSD)

O experimento foi realizado em um canal simulador de deriva (CSD) instalado no Instituto de Pesquisas em Aquicultura Ambiental (InPAA), localizado no município de Toledo, Paraná, Brasil e cuja dimensões e estrutura se encontram descritas na Figura 1. O CSD é construído em aço, tendo a parte frontal de vidro temperado transparente de 8 mm de espessura para visualização dos ovos e larvas. Em sua parte posterior foi instalado um adesivo plástico de escala métrica para determinação da distância de transporte dos organismos. O CSD consiste em um sistema de circulação fechada, onde a água armazenada em um reservatório (500 litros) é lançada através de tubulação por meio de uma bomba centrífuga para dentro do canal em um “dispersor de fluxo”, que tem a função de dissipar a turbulência gerada pela entrada do fluxo de água no sistema. A água que entra no sistema escoa pelo do CSD e retorna para o reservatório reiniciando o ciclo.

O conjunto de canos que forma a tubulação do CSD é formado por um cano que liga o reservatório à bomba, um cano de retorno da bomba para o reservatório e um cano que liga a bomba ao dispersor de fluxo no interior do canal. Os canos de retorno e que ligam a bomba ao canal são dotados de registros, que através da combinação do grau de abertura e fechamento entre eles, permite as alterações, a determinação e o controle das velocidades de fluxo.

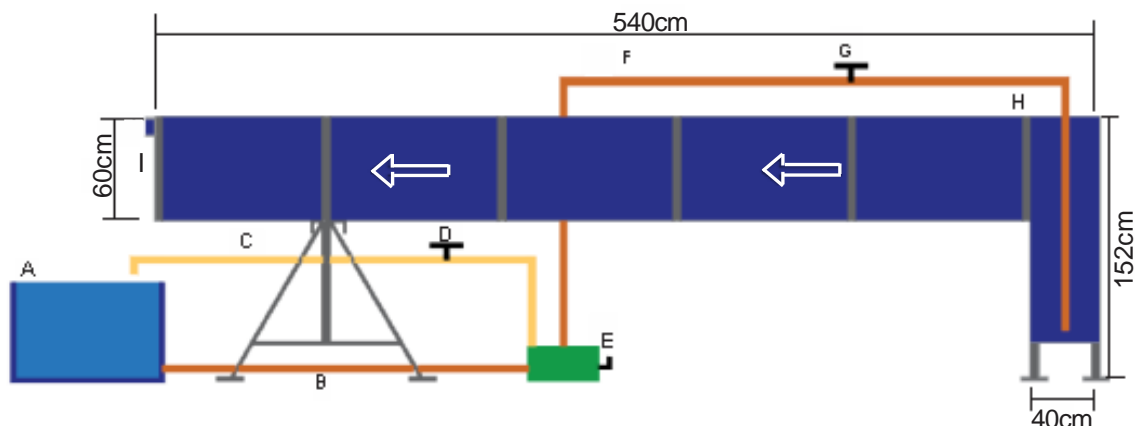


Figura 1. Vista lateral e dimensões (cm) do canal simulador de deriva (CSD) e esquema de funcionamento do canal simulador de deriva. a) caixa de água 500L; b) cano de entrada da água na bomba centrífuga; c) cano de retorno da bomba centrífuga; d) registro cano de retorno; e) bomba centrífuga; f) cano de vazão da bomba centrífuga; g) registro cano de vazão; h) Dispersor de fluxo; i) saída de água do canal simulador de deriva (CSD).

As velocidades de fluxo foram determinadas pela equação: $Q = v/t$, onde, Q= vazão volumétrica, V= volume (L) e t= tempo (s), a partir do enchimento de um recipiente de volume conhecido que foi posicionado no local de saída de água do CSD e cronometrado o tempo necessário para seu enchimento. Esse procedimento foi realizado em 10 repetições, para cada velocidade e calculada sua média e as unidades de L/s foram transformadas para m^3/s . Então, utilizamos a relação: $Q = V.A$, onde Q é a vazão obtida em m^3/s e A é a área da secção transversal do CSD em m^2 , as 4 velocidades finais foram obtidas em m/s, sendo elas: 0,032 m/s, 0,044 m/s, 0,068 m/s e 0,081 m/s. Essas velocidades foram escolhidas com base nas velocidades aproximadas que ocorrem no reservatório de Itaipu, que chega a 0,088 m/s (Crispim e Stevaux, 2001) e no rio Paraná que fica entre 0,080 e 1,10 m/s (Rocha e Filho, 2008).

2.2 Experimento

Foram utilizados no experimento, ovos e larvas de *Prochilodus lineatus*, conhecido como curimatá. Sua fecundação é externa, não realiza cuidado parental da prole, suas larvas eclodem em torno de 16 horas após a fecundação, à temperatura de 26°C (Nakatani *et al.*, 2001). Seus ovos são translúcidos e pelágicos, seu espaço perivitelínico é amplo e acumulam vitelo em seu polo vegetal (ovo telolecítico) (Botta *et al.*, 2010).

Os organismos utilizados no experimento foram obtidos de desovas induzidas realizadas em uma aquicultura comercial do município de Toledo. Após a desova, os ovos recém-fecundados foram transportados para o INPAA e acondicionados em incubadora cônico-cilíndrica de fibra de vidro de 200 litros, com circulação constante de água, até o final do experimento a uma temperatura média de $21,6 \pm 0,3^\circ C$. As atividades relativas ao experimento tiveram uma duração total de 10 dias e para as observações, os organismos (tanto ovos como larvas) foram liberados dentro do canal a uma distância de 1 metro da área da saída do dispersor de fluxo, a fim de se evitar possível influência da turbulência da entrada da água no sistema.

Nas amostragens foram utilizados 10 organismos (réplicas) para cada uma das 4 velocidades de fluxo testadas, sendo que cada ovo ou larva foi colocado individualmente no canal, onde se observou o tempo, a distância de deslocamento horizontal e o comportamento natatório das larvas. Os ovos foram corados com azul de metileno para facilitar sua visualização dentro do canal e submetidos aos testes a cada 4h, a partir da fecundação até a fase anterior à eclosão. A partir da eclosão, as larvas foram avaliadas a cada 8 horas até

atingirem 16 horas de desenvolvimento e a partir daí, os testes foram realizados em intervalos de 12 horas, até o final do experimento.

Para determinar o deslocamento horizontal dos ovos foi considerada a distância percorrida pelo ovo a partir do local de sua liberação (1m após o dispersor de fluxo), até o local onde ele tocou o fundo do canal, momento em que foram anotados o tempo e a distância percorrida. Para as larvas foram considerados somente os tempos em que elas permaneceram na coluna da água, período em que ocorreram as observações do seu comportamento, até o momento em que tocaram o fundo ou a lateral do canal.

Para fins de análise, o tempo de desenvolvimento dos ovos foi agrupado em horas pós-fecundação, sendo 0: recém fecundado e 24: próximo à eclosão. Já as larvas foram agrupadas por horas pós-eclosão, sendo 0: recém eclodida. Já a velocidade de transporte dos organismos foi calculada pela razão entre a distância de deslocamento horizontal (m) e o tempo de deslocamento (s), através da equação $V = d/t$.

2.3 Análise dos Dados

O delineamento experimental foi tipo fatorial com dois fatores (fluxo da água e fases de desenvolvimento). Os resultados foram submetidos à ANOVA de medidas repetidas e quando esta indicou diferença significativa, os dados foram submetidos ao teste de Tukey para identificar qual nível do fator foi diferente. Quando os pressupostos de normalidade (teste Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (teste Levene) não foram alcançados, foi aplicado o teste não paramétrico correspondente (Kruskal-Wallis), seguido de um teste de mediana. Todas as análises foram submetidas ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Foi analisado também o efeito da interação entre os tempos de desenvolvimento (h) e as velocidades de fluxo (m/s) para os ovos e larvas dentro do CSD. As análises foram realizadas utilizando o software Statistica[®] 7.0 (Statsoft, 2004).

3. RESULTADOS

Durante o experimento foi observada diferença significativa na distância de transporte dos ovos somente na maior velocidade de fluxo, sendo que nas menores as distâncias percorridas foram semelhantes (Figura 2). Em relação ao transporte pelo tempo de desenvolvimento, também foram observadas diferenças significativas na maior velocidade de fluxo para todos os tempos de desenvolvimento e a partir das 12 horas para a velocidade 0,068 m/s em relação às demais velocidades.

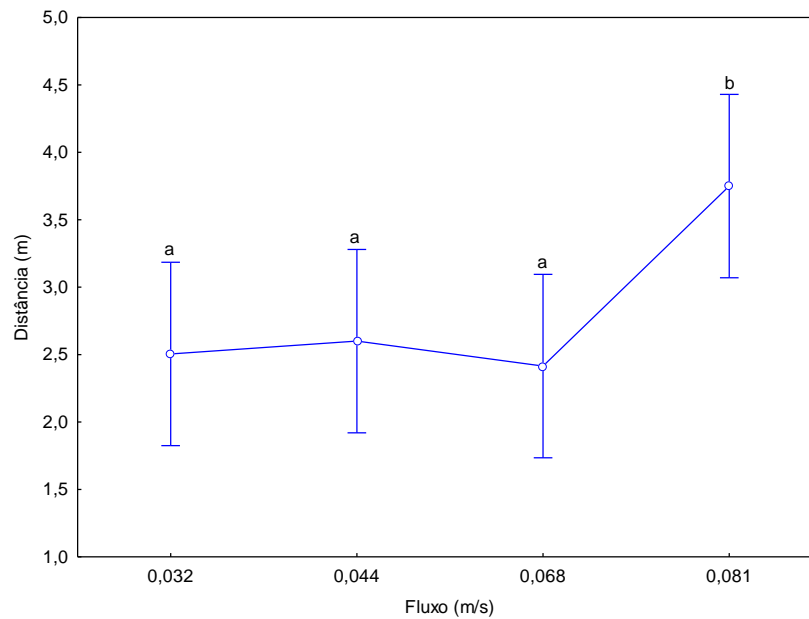


Figura 2. Distância do transporte em metros dos ovos de *P. lineatus* dentro do canal de deriva nas quatro diferentes velocidades de fluxo testadas (letras diferentes representam diferenças significativas a 5% entre as médias pelo teste de Tukey).

Considerando a porcentagem total de ovos que derivaram toda a extensão do canal de deriva, foi observado que nas menores velocidades avaliadas, os valores ficaram abaixo dos 40%, enquanto que na maior velocidade, estas porcentagens ficaram acima dos 60% e nos estágios finais, todos os ovos liberados foram transportados por toda a extensão do canal (Figura 3a). De maneira geral, o padrão de transporte nas menores velocidades (0,032 e 0,044 m/s) foi semelhante com redução das velocidades de deriva ao longo do desenvolvimento, especialmente a partir da oitava hora após a fecundação, nessas velocidades, observou-se uma oscilação maior entre as velocidades de transporte dos ovos ao longo do tempo de desenvolvimento (Figura 3b). Houve diferença significativa entre a maior velocidade e as demais, embora também tenha se observado uma redução na velocidade de transporte para o fluxo de 0,081 m/s quando os ovos estavam nos estágios finais de desenvolvimento.

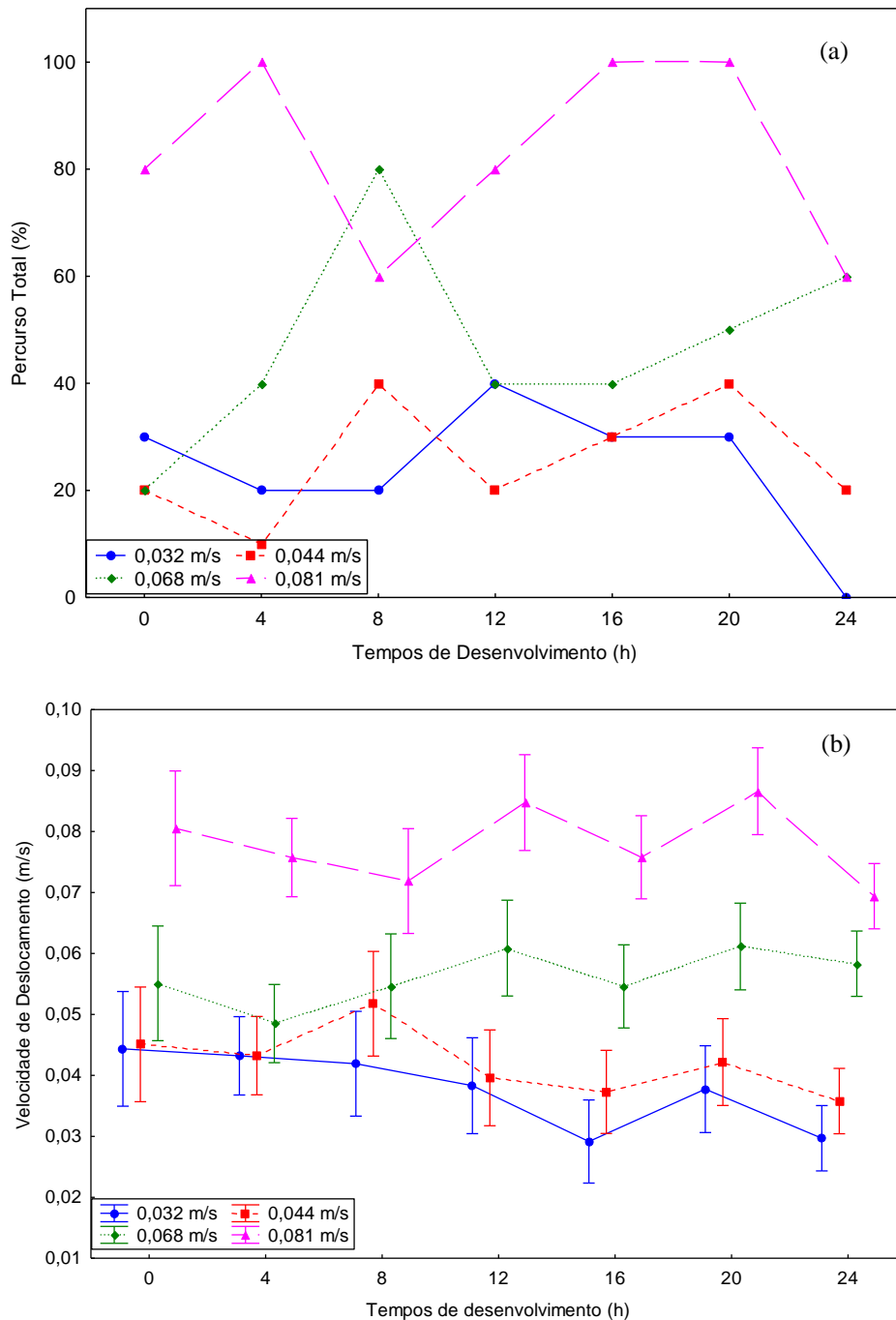


Figura 3. Porcentagem de transporte pelo percurso total (a) e da interação entre as velocidades de fluxo (m/s) e os tempos de desenvolvimento dos ovos (b) de *P. lineatus* para os quatro fluxos testados no canal simulador de deriva.

Nos primeiros estágios após a eclosão (até 40h), as larvas foram completamente transportadas pelas maiores velocidades de fluxo, onde houve uma diferença significativa para a maior velocidade (0,081 m/s), ou nadaram no sentido do fluxo (reotaxia negativa) também sendo transportadas. A partir das 48 horas pós-eclosão, foi observada uma padronização nas velocidades de deriva entre as diferentes velocidades de fluxo e tempo de

desenvolvimento, principalmente até 110 horas pós-eclosão. Então, foi registrado um padrão irregular nas velocidades de transporte entre as velocidades de fluxo (Figura 4).

Em relação ao comportamento durante o experimento, foi possível verificar que as larvas recém-eclodidas, já se orientavam contra o fluxo, porém, procurando as áreas de menor velocidade (fundo e lateral do canal) sem nadar contra ele. A partir das 48 horas de desenvolvimento, começou a ocorrer uma natação ativa, juntamente com movimentação das nadadeiras peitorais, mantendo-se próximas à superfície, das paredes do canal ou ainda nadando contra o fluxo (reotaxia positiva), o que foi se evidenciando ao longo dos tempos de desenvolvimento. Nos tempos de desenvolvimento finais (134h, 146h) todas as larvas exerciam movimentos de natação ativos, contra e a favor do fluxo, subindo e descendo na coluna d'água, chegando a passar da área de observação do canal simulador de deriva.

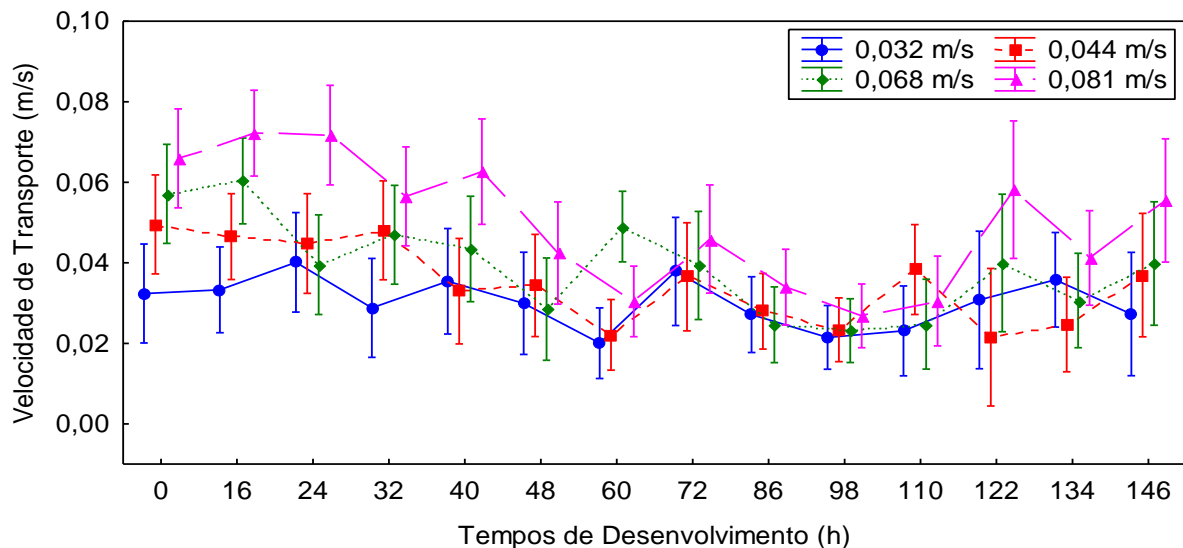


Figura 4. Interação entre as velocidades de fluxo (m/s) e os tempos de desenvolvimento das larvas de *P. lineatus* para os quatro fluxos testados no canal simulador de deriva.

4. DISCUSSÃO

O transporte dos ovos durante o experimento foi proporcional ao aumento do fluxo, sofrendo apenas pequenas oscilações verticais, mas ficando em sua maioria próximos à superfície, característica dos ovos pelágicos produzidos pela espécie (Nakatani *et al.*, 2001). Ovos desse tipo que derivam em correntes podem ser afetados pela turbulência (Vogel, 1994), o que pode ser o motivo de algumas alterações presentes em alguns estágios de desenvolvimento dos ovos, como no caso da velocidade de fluxo de 0,068 m/s onde entre 32 e 48h ocorreu uma oscilação na velocidade de transporte, pois apesar de possuir um dispersor de fluxo, ainda era possível notar turbulência dentro do CSD.

A redução da velocidade de transporte dos ovos nos estágios mais avançados de desenvolvimento pode ser atribuída ao aumento da densidade nos estágios finais de desenvolvimento, levando a uma diminuição da flutuabilidade (Petereit *et al.*, 2014). Este fato é especialmente evidenciado nas menores velocidades de fluxo e aliado às menores porcentagens de transporte pelo percurso total, revelam que nestas velocidades não haveria o transporte destes ovos. Neste caso, se um ambiente apresentar velocidades próximas ou inferiores às menores velocidades testadas neste estudo, possivelmente ocorreria a decantação dos ovos para o fundo e muito provavelmente não haveria sua eclosão.

Na maior velocidade de fluxo, foi observada a maior distância em metros de deriva dos ovos e porcentagem de ovos transportados pela extensão total do canal de deriva, o que demonstrou que velocidades acima de 0,081 m/s são eficientes no transporte dos ovos de *P. lineatus* em todas suas fases de desenvolvimento ontogenético. Assim, para que haja o transporte de ovos das áreas de desova para as áreas a jusante seriam necessárias velocidades iguais ou superiores a 0,081 m/s, o que é encontrado em ambientes naturais e no reservatório de Itaipu, no qual a velocidade de fluxo chega a passar desse valor.

As larvas, logo após eclodirem já procuravam se posicionar contra o fluxo dentro do canal indicando que mesmo pouco desenvolvidas elas possuem a percepção de posição e orientação. Esta capacidade de orientação está relacionada ao fato de que as larvas ao nadar criam um campo de fluxo que gera um impulso que atinge os receptores da linha lateral na superfície do corpo (Feitl e McHenry, 2010). Existe relação entre o desempenho da natação e a morfologia das larvas, pois o desempenho depende da força de arrasto e propulsão que o organismo irá desenvolver (Viedeler, 1993), essa relação influencia na capacidade de manter sua posição na água corrente.

A capacidade de orientação em larvas recém eclodidas é um fator preponderante para a sua sobrevivência, visto que elas necessitam desenvolver a natação quase que imediatamente após a desova (Voeseneck *et al.*, 2018), a fim de encontrar alimento antes mesmo de esgotarem totalmente as reservas vitelínicas. As larvas recém eclodidas possuem um suprimento de vitelo limitado e necessitam se alimentar antes que esta reserva se esgote (Hunter, 1981) e morram de inanição. A inanição é resultante da incapacidade das larvas para encontrar presas suficientes, foi originalmente sugerido como o principal agente de mortalidade durante este "período crítico" de mortalidade em massa (China *et al.*, 2017). A natação também suporta a respiração, renovando a camada limite difusiva de gases e íons (Green *et al.*, 2011) e ajuda a manter e controlar a orientação do corpo (Ehrlich e Schoppik, 2017).

As maiores velocidades de transporte das larvas de *P. lineatus* ocorreram nos tempos iniciais de desenvolvimento, sendo completamente transportadas ou seguindo o sentido do fluxo (reotaxia negativa). Nas primeiras horas pós-eclosão, os batimentos caudais foram acelerados, mas não suficientes para exercer natação ativa. Muitas características são importantes para definir a capacidade natatória das larvas, como a proporção e aspecto dos músculos (Sambilay, 1990; Fisher *et al.*, 2000), a relação do comprimento da nadadeira caudal (Nanami, 2007), as nadadeiras dorsais e anais (Drucker e Lauder, 2005; Standen e Lauder, 2005; Standen e Lauder, 2007), entretanto, a maioria destas características não estão presentes nos estágios iniciais de desenvolvimento.

Os batimentos caudais diminuíram conforme o crescimento da larva, devido à inércia do corpo (Voeseneck *et al.*, 2018) e possivelmente ao desenvolvimento muscular. A partir de 48 horas pós a eclosão, observou-se que houve uma natação ativa das larvas, concomitantemente aos movimentos das nadadeiras peitorais, que nos teleósteos, geralmente costumam aparecer logo após a eclosão (Blaxter, 1988; Osse e Van Den Boogaart, 1999). A morfologia das nadadeiras tem forte efeito sobre a capacidade natatória e cinemática do corpo (Mueller e Van Leeuwen, 2004; Mueller *et al.*, 2008; Hale, 2014). Normalmente as nadadeiras pares (peitorais e pélvicas) estão relacionadas mais à estabilidade e direcionamento do nado (Casatti e Castro, 2006), mas nos primeiros estágios de desenvolvimento a nadadeira peitoral parece assumir um importante papel também na propulsão da larva.

As larvas durante o experimento procuraram as regiões de menor fluxo junto ao fundo ou das paredes do canal simulador desde as primeiras horas pós-eclosão. Este comportamento também é descrito para ambientes naturais, onde as larvas geralmente buscam flutuar nas margens e não no meio (Kynard *et al.*, 2007; Reichard *et al.*, 2004), possibilitando a elas que mantenham sua posição sem serem varridas pelo fluxo. Esse comportamento indica que as larvas são reotáticas e aparentemente conseguem ter essa percepção localizando as menores velocidades onde permitem se manter com menor custo energético e evitar estresse (Pavlov *et al.*, 2008).

Outros estudos, também verificaram que as larvas exercem movimentos ativos em situações de fluxo, não se comportando como partículas passivas (Robinson *et al.*, 1998; Schludermann *et al.*, 2012; Lechner *et al.*, 2017; Zens *et al.*, 2017). Devido a constatação da existência de movimentos ativos na dispersão das larvas, Lechner *et al.*, (2016), chegam a propor um novo conceito de deriva para larvas, chamado ativo-passivo, pois não haveria uma separação adequada entre a deriva ativa e passiva, visto que existe uma variabilidade no comportamento larval e nos padrões de movimento, como observado neste estudo.

Pesquisas com espécies marinhas, as quais são mais estudadas que as de água doce quanto ao fluxo, como no estudo de Staaterman *et al.* (2012) e Mouritsen *et al.* (2013), que afirmam que as larvas de peixes não sofrem transporte passivo e revelaram que elas são capazes de detectar sinais do ambiente e exibir comportamento sofisticado, como a natação direcional, importante para a dispersão efetiva. Observações de larvas movendo-se em gradientes hidráulicos (Stoll e Beeck, 2012), regulando as velocidades de natação e deriva ao regime de fluxo predominante (Hogan e Mora, 2005) ou adaptando a distribuição de profundidade de acordo com as correntes (Kunze *et al.* 2013) também enfatizam uma resposta ativa para o ambiente hidrodinâmico.

Os resultados deste estudo revelam que a dispersão de larvas de *P. lineatus* é uma consequência de um comportamento ativo, em vez de ser um processo de transporte passivo, que foi indicado pela diminuição da velocidade de transporte nos tempos finais de desenvolvimento larval e do comportamento de natação apresentado, além da busca por áreas de menor fluxo dentro do canal simulador. Deve então se considerar o movimento larval quando são feitas tentativas para entender e modelar os padrões de dispersão de larvas de peixes em rios, já a suposição de transporte unicamente passivo deve ser amplamente rejeitada.

Desta maneira, baseado nos dados obtidos neste estudo, podemos concluir que ambientes cuja velocidade de fluxo seja inferior a 0,044 m/s não são favoráveis à deriva de ovos de *P. lineatus*, (o que provavelmente pode ser estendido para outras espécies de peixes migradores), enquanto que velocidades acima de 0,081 m/s proporcionam maiores probabilidades de sucesso no transporte dos ovos para as áreas à jusante. Podemos concluir ainda que as larvas apresentaram comportamento ativo desde as primeiras horas de desenvolvimento com comportamento similar ao apresentado em ambiente natural e que a partir de 48 horas pós-eclosão já são capazes de se manterem e se dispersarem contra o fluxo dentro do canal.

Estudos como este sobre a influência da velocidade de fluxo no transporte do ictioplâncton e seu comportamento são escassos atualmente, sendo necessários maiores aprofundamentos e pesquisas sobre o assunto em trabalhos futuros. De forma a obter uma maior compreensão dos processos envolvidos na reprodução, eclosão e transporte dos ovos e larvas, o que contribuirá para futuras medidas de conservação, visando o crescente número de populações de peixes ameaçadas pelos impactos causados pelo controle de fluxo exercido nos ambientes naturais (Cooke *et al.*, 2012; Humphries *et al.*, 2013; Lechner *et al.*, 2016).

5. REFERÊNCIAS

- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., and Zalewski, M. (2001). The importance of floodplains for the dynamics of fish communities of the upper river Paraná. *Ecohydrol. Hydrobiol.* **1**: 209–217.
- Agostinho, A.A., Gomes, L.C., Suzuki, H.I. & Júlio, H.F. (2003) Migratory fish from the upper Paraná River basin, Brazil. In: Carolsfeld, J., Harvey, B., Ross, C., Baer, A. and Ross, C. (eds.), *Migratory Fishes of South America: Biology, Social Importance and Conservation Status*. World Fisheries Trust, the World Bank and the International Development Research Centre, Victoria, pp. 19–99.
- Agostinho, A. A., Gomes, L. C., & Pelicice, F. M. (2007). *Ecologia e manejo de recursos pesqueiros em reservatórios do Brasil*, EDUEM, Maringá, 501 p.
- Assumpção, L. D., Makrakis, M. C., Makrakis, S., Wagner, R. L., Silva, P. S. D., Lima, A. F. D., & Kashiwaqui, E. A. L. (2012). The use of morphometric analysis to predict the swimming efficiency of two Neotropical long-distance migratory species in fish passage. *Neotropical Ichthyology*, **10**, 797-804.
- Barros, M. D. L. C., & Rosman, P. C. C. (2018). A study on fish eggs and larvae drifting in the Jirau reservoir, Brazilian Amazon. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, **40**, 62.
- Blaxter, J. H. S. (1988). Pattern and Variety in Development. In *Fish physiology* (Vol. 11, pp. 1-58). Academic Press.
- Botta, P., Sciara, A., Arranz, S., Murgas, L. D. S., Pereira, G. J. M., & Oberlender, G. (2010). Estudio del desarrollo embrionario del sábalo (*Prochilodus lineatus*). *Archivos de medicina veterinaria*, **42**, 109-114.
- Bradford, M. J. (1997). An experimental study of stranding of juvenile salmonids on gravel bars and in sidechannels during rapid flow decreases. *Regulated Rivers: Research & Management: An International Journal Devoted to River Research and Management*, **13**, 395-401.
- Casatti, L. e Castro, R. M. C. (2006). Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, **4**, 203-214.
- China, V., Levy, L., Liberzon, A., Elmaliach, T., & Holzman, R. (2017). Hydrodynamic regime determines the feeding success of larval fish through the modulation of strike kinematics. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **284**, 20170235.
- Chun, S. N., Cocherell, S. A., Cocherell, D. E., Miranda, J. B., Jones, G. J., Graham, J., & Cech, J. J. (2011). Displacement, velocity preference, and substrate use of three native California stream fishes in simulated pulsed flows. *Environmental Biology of Fishes*, **90**, 43-52.

- Cocherell, S. A., Chun, S. N., Cocherell, D. E., Thompson, L. C., Klimley, A. P., & Cech, J. J. (2012). A lateral-displacement flume for fish behavior and stranding studies during simulated pulsed flows. *Environmental Biology of Fishes*, **93**, 143-150.
- Cooke, S. J., Paukert, C., & Hogan, Z. (2012). Endangered river fish: factors hindering conservation and restoration. *Endangered species research*, **17**, 179-191.
- Crispim, J. Q., & Stevaux, J. C. (2001). Alterações na hidrologia do canal após construção de reservatório à montante: o caso da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera, Rio Paraná. *Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Pós-graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Maringá, PR, 25p.*
- Daewel, U., Peck, M. A., & Schrum, C. (2011). Life history strategy and impacts of environmental variability on early life stages of two marine fishes in the North Sea: an individual-based modelling approach. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **68**, 426-443.
- Drucker, E. G., & Lauder, G. V. (2005). Locomotor function of the dorsal fin in rainbow trout: kinematic patterns and hydrodynamic forces. *Journal of Experimental Biology*, **208**, 4479-4494.
- Ehrlich, D. E., & Schoppik, D. (2017). Control of movement initiation underlies the development of balance. *Current biology*, **27**, 334-344.
- Feitl, K. E., Ngo, V., & McHenry, M. J. (2010). Are fish less responsive to a flow stimulus when swimming?. *Journal of Experimental Biology*, **213**, 3131-3137.
- Fisher, R., Bellwood, D. R., & Job, S. D. (2000). Development of swimming abilities in reef fish larvae. *Marine Ecology Progress Series*, **202**, 163-173.
- Garcia, T., Jackson, P. R., Murphy, E. A., Valocchi, A. J., & Garcia, M. H. (2013). Development of a fluvial egg drift simulator to evaluate the transport and dispersion of Asian carp eggs in rivers. *Ecological modelling*, **263**, 211-222.
- Graça, W.J. & Pavanelli, C.S., (2007). *Peixes da planície de inundação do alto rio Paraná e áreas adjacentes*. Eduem, Maringá, p. 241.
- Green, M. H., Ho, R. K., & Hale, M. E. (2011). Movement and function of the pectoral fins of the larval zebrafish (*Danio rerio*) during slow swimming. *Journal of Experimental Biology*, **214**, 3111-3123.
- Gomes, L.C., & Agostinho, A.A. (1997). Influence of the flooding regime on the nutritional state and juvenile recruitment of the curimba, *Prochilodus scrofa*, Steindachner, in upper Paraná river, Brazil. *Fish. Manag. Ecol.* **4**, 263–274.
- Gubiani, E. A., Gomes, L. C., Agostinho, A. A., & Okada, E. K. (2007). Persistence of fish populations in the upper Paraná River: effects of water regulation by dams. *Ecology of freshwater fish*, **16**, 191-197.

- Hale, M. E. (2014). Developmental change in the function of movement systems: transition of the pectoral fins between respiratory and locomotor roles in zebrafish. *American Zoologist*, **54**, 238-249.
- Halleraker, J. H., Saltveit, S. J., Harby, A., Arnekleiv, J. V., Fjeldstad, H. P., & Kohler, B. (2003). Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Research and Applications*, **19**, 589-603.
- Hinrichsen, H. H., Hüsey, K., & Huwer, B. (2012). Spatio-temporal variability in western Baltic cod early life stage survival mediated by egg buoyancy, hydrography and hydrodynamics. *ICES Journal of Marine Science*, **69**, 1744-1752.
- Hogan, J. D., & Mora, C. (2005). Experimental analysis of the contribution of swimming and drifting to the displacement of reef fish larvae. *Marine Biology*, **147**, 1213-1220.
- Humphries, P., Richardson, A., Wilson, G., & Ellison, T. (2013). River regulation and recruitment in a protracted - spawning riverine fish. *Ecological Applications*, **23**, 208-225.
- Hunter, J. R. (1981). Feeding Ecology and Predation of Marine Fish Larvae. R. Lasker. ed, 1, 34-77.
- Kunze, H. B., Morgan, S. G., & Lwiza, K. M. (2013). Field test of the behavioral regulation of larval transport. *Marine Ecology Progress Series*, **487**, 71-87.
- Kynard, B., Parker, E., Kynard, B., & Parker, T. (2007). Dispersal characteristics, drift distance, and wintering behaviour of young Kootenai River White Sturgeon: a laboratory study. *Final Report to Idaho Department of Fish and Game, Boise*.
- Lacey, R. J., Neary, V. S., Liao, J. C., Enders, E. C., & Tritico, H. M. (2012). The IPOS framework: linking fish swimming performance in altered flows from laboratory experiments to rivers. *River Research and Applications*, **28**, 429-443.
- Lechner, A., Keckeis, H., Glas, M., Tritthart, M., Habersack, H., Andorfer, L., & Humphries, P. (2017). The influence of discharge, current speed, and development on the downstream dispersal of larval nase (*Chondrostoma nasus*) in the River Danube. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **75**, 247-259.
- Lechner, A., Keckeis, H., & Humphries, P. (2016). Patterns and processes in the drift of early developmental stages of fish in rivers: a review. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **26**, 471-489.
- Makrakis, M. C., Miranda, L. E., Makrakis, S., Fontes Júnior, H. M., Morlis, W. G., Dias, J. H. P., & Garcia, J. O. (2012). Diversity in migratory patterns among Neotropical fishes in a highly regulated river basin. *Journal of Fish Biology*, **81**, 866-881.
- Mouritsen, H., Atema, J., Kingsford, M. J., & Gerlach, G. (2013). Sun compass orientation helps coral reef fish larvae return to their natal reef. *PLoS One*, **8**, e66039.

- Müller, U. K., & Van Leeuwen, J. L. (2004). Swimming of larval zebrafish: ontogeny of body waves and implications for locomotory development. *Journal of Experimental Biology*, **207**, 853-868.
- Müller, U. K., van den Boogaart, J. G., & van Leeuwen, J. L. (2008). Flow patterns of larval fish: undulatory swimming in the intermediate flow regime. *Journal of Experimental Biology*, **211**, 196-205.
- Nakatani, K. (2001). *Ovos e larvas de peixes de água doce: desenvolvimento e manual de identificação*. Eletrobrás; Uem, 2001. il..
- Nanami, A. (2007). Juvenile swimming performance of three fish species on an exposed sandy beach in Japan. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **348**, 1-10.
- Nathan, R., Getz, W. M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D., & Smouse, P. E. (2008). A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**, 19052-19059.
- Osse, J. W. M., & Van den Boogaart, J. G. M. (1999). Dynamic morphology of fish larvae, structural implications of friction forces in swimming, feeding and ventilation. *Journal of Fish Biology*, **55**, 156-174.
- Pavlov, D. S., Mikheev, V. N., Lupandin, A. I., & Skorobogatov, M. A. (2008). Ecological and behavioural influences on juvenile fish migrations in regulated rivers: a review of experimental and field studies. *Hydrobiologia*, **609**, 125.
- Pavlov, D. S., & Mikheev, V. N. (2017). Downstream migration and mechanisms of dispersal of young fish in rivers¹. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*.
- Petereit, C., Hinrichsen, H. H., Franke, A., & Köster, F. W. (2014). Floating along buoyancy levels: Dispersal and survival of western Baltic fish eggs. *Progress in Oceanography*, **122**, 131-152.
- Reichard, M., & Jurajda, P. (2004). The effects of elevated river discharge on the downstream drift of young-of-the-year cyprinid fishes. *Journal of Freshwater Ecology*, **19**, 465-471.
- Robinson, A. T., Clarkson, R. W., & Forrest, R. E. (1998). Dispersal of larval fishes in a regulated river tributary. *Transactions of the American Fisheries Society*, **127**, 772-786.
- Rocha, P. C., & Souza Filho, E. D. (2008). Erosão marginal e evolução hidrodinâmica no sistema rio-planície fluvial do Alto Paraná-Centro Sul do Brasil. In J. O. R. Nunes & P. C. Rocha (Eds.), *Geomorfologia: aplicação e metodologias* (pp. 133-154). São Paulo, SP: Expressão Popular.
- Sambilay Jr, V. C. (1990). Interrelationships between swimming speed, caudal fin aspect ratio and body length of fishes. *Fishbyte*, **8**, 16-20.
- Schludermann, E., Tritthart, M., Humphries, P., & Keckeis, H. (2012). Dispersal and retention of larval fish in a potential nursery habitat of a large temperate river: an experimental study. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **69**, 1302-1315.

- Staaterman, E., Paris, C. B., & Helgers, J. (2012). Orientation behavior in fish larvae: a missing piece to Hjort's critical period hypothesis. *Journal of theoretical biology*, **304**, 188-196.
- Standen, E. M., & Lauder, G. V. (2005). Dorsal and anal fin function in bluegill sunfish *Lepomis macrochirus*: three-dimensional kinematics during propulsion and maneuvering. *Journal of Experimental Biology*, **208**, 2753-2763.
- Standen, E. M., & Lauder, G. V. (2007). Hydrodynamic function of dorsal and anal fins in brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Journal of Experimental Biology*, **210**, 325-339.
- Statsoft, I. N. C. (2004). Programa computacional Statistica 7.0.
- Stoll, S., & Beeck, P. (2012). Larval fish in troubled waters—is the behavioural response of larval fish to hydrodynamic impacts active or passive?. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, **69**, 1576-1584.
- Videler, J. J. (1993). *Fish Swimming*. London: Chapman & Hall.
- Voesenek, C. J., Muijres, F. T., & Van Leeuwen, J. L. (2018). Biomechanics of swimming in developing larval fish. *Journal of Experimental Biology*, **221**, jeb149583.
- Vogel, S. (1994). *Life in moving fluids*. Princeton University Press
- Zens, B., Glas, M., Tritthart, M., Habersack, H., & Keckeis, H. (2017). Movement patterns and rheoreaction of larvae of a fluvial specialist (nase, *Chondrostoma nasus*): the role of active versus passive components of behaviour in dispersal¹. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.