

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA

MATEUS CAMANA

**MOVIMENTO DE PEIXES DE RIACHO É AFETADO POR
CRUZAMENTOS DE ESTRADA? UM ESTUDO DE MARCAÇÃO E
RECAPTURA COM *Rineloricaria aequalicuspis* (LORICARIIDAE)**

PORTO ALEGRE
2016

MATEUS CAMANA

**MOVIMENTO DE PEIXES DE RIACHO É AFETADO POR
CRUZAMENTOS DE ESTRADA? UM ESTUDO DE MARCAÇÃO E
RECAPTURA COM *Rineloricaria aequalicuspis* (LORICARIIDAE)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Gertum Becker.

PORTO ALEGRE
2016

MATEUS CAMANA

**MOVIMENTO DE PEIXES DE RIACHO É AFETADO POR CRUZAMENTOS DE
ESTRADA? UM ESTUDO DE MARCAÇÃO E RECAPTURA COM *Rineloricaria*
aequalicuspis (LORICARIIDAE)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Gertum Becker.

Aprovado em: 24 de novembro de 2016

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Andreas Kindel
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Sérgio Makrakis
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos aos que compõem as minhas fundações e sempre me estimularam ao estudo e a realização de todos meus desejos, obrigado Ângela, Carmen e Lauro. Mais recente, mas de semelhante valia, também não me esqueço de João, que logo assumiu papel importante em conversas, descontrações e momentos de seriedade.

Vindo para cimentar diariamente a minha construção pessoal, agradeço imensamente a Patrícia, que sempre me traz questionamentos acerca do mundo e me guia nas minhas escolhas.

Agradeço ao meu orientador Fernando Becker (Fritz), que me aceitou sob sua orientação ainda em 2013 e nunca deixou de me auxiliar nos momentos em que tive dúvidas, obrigado pela confiança!

Não seria possível realizar esse trabalho sem as incansáveis pessoas que me auxiliaram nos trabalhos de campo, cada vez mais dispostas a voltar, obrigado Alice, Cris, Crisla, Dalmolin, Fritz, Lucas e Renato. Com agradecimento especial à dona Leonira e o seu Matias, que, como sempre, nos proporcionaram uma ótima estadia no Sítio da Amizade, além de várias histórias, risos e comida farta.

Este trabalho é apenas a finalização de um entre tantos outros realizados na minha estadia no laboratório de ecologia paisagem, assim, não posso deixar de agradecer as pessoas iluminadas que sempre me prestaram auxílio, seja acadêmico, seja lúdico, nesses últimos anos e que compõem ou compuseram a equipe do LECOPAI, com agradecimento especial à Alice, Bruna, Lucas, Renato e Taís.

Agradeço aos professores que aceitaram o convite para compor a minha banca, Prof. Andreas Kindel e Prof. Sérgio Makrakis. Acredito que cada apontamento será muito importante para a finalização deste trabalho.

Por fim, faço um agradecimento a todas as funcionárias e todos os funcionários das empresas terceirizadas pela UFGRS que proporcionaram um ambiente adequado para a minha formação e o alimento necessário para eu poder exercer as minhas atividades diárias.

*As histórias mais erradas são aquelas que pensamos
que sabemos melhor - e, portanto, nunca
investigamos ou questionamos.*

Stephen Jay Gould

RESUMO

Estradas quando interceptam corpos aquáticos, geram impactos, em especial quando se tratam de riachos, dadas a sua maior sensibilidade a alterações no ambiente. Podendo atuar em características como o fluxo e a sedimentação, quanto por atuar como efeito de barreira para a movimentação de peixes. Apesar de existirem estudos que avaliam esses efeitos, ainda não existem no Brasil documentos que regulem a construção e gestão de pontes com bueiros. Assim, este estudo procurou avaliar se o movimento da espécie de peixe *Rineloricaria aequalicuspis* é afetado por uma ponte de concreto com bueiros retangulares. Para o teste, foram capturados indivíduos da espécie mensalmente entre janeiro e setembro de 2016 em seis parcelas de 10 metros localizadas à jusante e à montante do cruzamento. Cada indivíduo foi fotografado em campo para posterior comparação em laboratório utilizando foto identificação, assim foi possível analisar se os movimentos ocorreram entre parcelas sem e com barreira e se as movimentações ocorreram em sentido ascendente ou descendente. Para avaliar os efeitos do cruzamento, gerei três modelos lineares mistos, um para analisar os movimentos entre parcelas de montante e jusante e através do cruzamento e outros dois que levaram em conta o sentido da movimentação, comparando movimentos entre parcelas livres e através do cruzamento. Foram capturados 429 indivíduos, sendo que 58 representaram recapturas (13.5%), destes, 20 apresentaram movimento entre parcelas. Houve diferença significativa na taxa de movimento entre parcelas livres à jusante e aquela através do cruzamento, independente do sentido do movimento, evidenciando que pode estar ocorrendo um efeito de barreira para a dispersão da espécie, gerado principalmente pela estrutura do cruzamento que cria condições que dificultam a passagem, como aumento de fluxo nos bueiros e presença de queda da água. Assim, ressalto a necessidade de mais estudos que subsidiem a criação de normas técnicas para a construção de estradas em riachos, a fim de diminuir o efeito sobre o ambiente e a biota.

Palavras-chave: Fragmentação. Bueiro. Dispersão. Movimentação.

ABSTRACT

Stream-road crossings when intercept water bodies, can produce impacts, in particular, when they are treated to streams, because your major sensibility to environmental alterations. May cause alterations in flow and sediment input, or by functioning as barrier to fish movement. In spite of growing research documenting these effects, in Brazil there are no specific legal provisions to regulate or guide the building and environmental management road-crossings with culverts. In this study, I aimed to assess whether the movement of the armored-catfish, *Rineloricaria aequalicuspis*, is affected by culverts. For the text, monthly fish samples were taken by kick-sampling between January and September 2016 in six contiguous 10-m sections, three positioned immediately upstream and three downstream the road crossing. Each captured fish was photographed for posterior individual identification in laboratory, following a previously validated technique for photo-identification. By photo-identification, I was able to determine events of individual recapture and their position align the sampled stream reach and if they were indicative of fish movements surpassing the culvert downstream or upstream. To assess the barrier effect of the culvert, I used mixed linear models, one for analyze the movements between parcels in upstream and downstream and trough the crossing and other two for analyze the direction of movement. A total of 429 specimens were captured, with 58 recaptures (13.5%), among the later, 20 represented movement events between parcels. There was a significant difference in the movement rate when comparing values within barrier-free sections in the downstream and values across the culvert, independent to direction of movement, supporting the hypothesis of a barrier effect for *R. aequalicuspis* movements, caused by the culvert structure, which create difficult conditions for individual swimming and passage, for instance, the increased water outflow downstream the culvert and vertical waterfall. Therefore, I emphasize the need for more research to support the production of technical guidance for designing stream-road crossings that prevent environmental effects on stream ecosystems and their biota.

Palavras-chave: Fragmentation. Culvert. Dispersion. Movement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – DIFERENTES TIPOS DE ESTRUTURAS QUE CARACTERIZAM CRUZAMENTOS DE ESTRADA ATRAVÉS DE RIACHOS DE PEQUENAS ORDENS. AS TRÊS FOTOS REPRESENTAM CRUZAMENTOS DA BACIA DO RIO MAQUINÉ (RS). EM A, UMA FINA LÂMINA DE CONCRETO SUBMERSA EM TEMPO INTEGRAL; EM B, BUEIROS DE CONCRETO ARMADO RETANGULARES E; EM C, BUEIROS DE CONCRETO ARMADO CIRCULARES.	11
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DO CRUZAMENTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MAQUINÉ. EM A, VISTA LATERAL E EM B, REGIÃO À JUSANTE DA BARREIRA, EVIDENCIANDO A QUEDA DA ÁGUA.	17
FIGURA 3 – DIVISÃO DAS PARCELAS À JUSANTE (J10, J20 E J30) E À MONTANTE (M10, M20 E M30) DO CRUZAMENTO, CADA UMA COM 10 METROS DE COMPRIMENTO.	18
FIGURA 4 – NÚMERO DE CAPTURAS E RECAPTURAS MENSAIS DE <i>R. aequalicuspis</i> . 20	
FIGURA 5 – COMPARAÇÃO ENTRE O NÚMERO DE CAPTURAS E RECAPTURAS MENSAIS DE <i>R. AEQUALICUSPIS</i> (A LINHA TRACEJADA REPRESENTA AS CAPTURAS ENQUANTO A PONTILHADA, AS RECAPTURAS).....	21
FIGURA 6 – MAPA DE DENSIDADES DE MOVIMENTOS. CORES MAIS ESCURAS SIMBOLIZAM UM MAIOR NÚMERO DE PRESENÇAS EM DETERMINADA PARCELA, SEJA EM EVENTOS DE CAPTURA, RECAPTURA OU DE PASSAGEM.....	22
FIGURA 7 – TAXA DE MOVIMENTO ENTRE OS TRECHOS DE JUSANTE E MONTANTE ENTRE PARCELAS LIVRES E ATRAVÉS DO CRUZAMENTO	23
FIGURA 8 –TAXA DE MOVIMENTOS ENTRE PARCELAS LIVRES NA DIREÇÃO DE JUSANTE PARA MONTANTE (ASCENDENTES) E DE MONTANTE PARA JUSANTE (DESCENDENTES).....	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 CRUZAMENTOS DE ESTRADAS SOBRE RIACHOS	10
1.2 EFEITOS DE ESTRADAS SOBRE O AMBIENTE AQUÁTICO E ICTIOFAUNA	11
1.4 JUSTIFICATIVA	13
1.5 OBJETIVOS	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 ÁREA DE ESTUDO	17
3.2 CAPTURA E MARCAÇÃO DOS PEIXES.....	18
3.3 FOTO IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS PADRÕES DE MOVIMENTAÇÃO.....	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

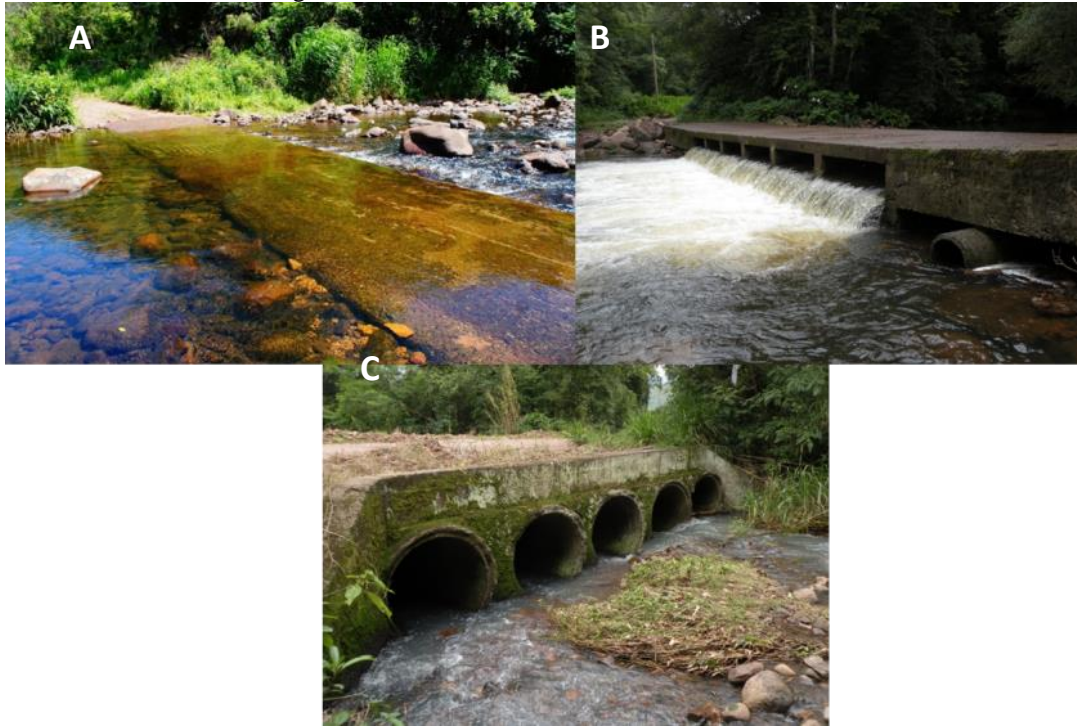
1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentadas as principais informações que conduziram a construção deste trabalho de pesquisa

1.1 CRUZAMENTOS DE ESTRADAS SOBRE RIACHOS

Estradas são geradoras de várias alterações em ambientes lóticos de forma direta e indireta, seja por efeitos sobre as áreas terrestres das bacias hidrográficas, ligadas principalmente a alterações no aporte de sedimentos até efeitos e alterações no hábitat promovendo a fragmentação de populações (FURNISS et al., 1990; FORMAN; ALEXANDER, 1998; HARPER; QUIGLEY, 2005; PÉPINO et al., 2016; TROMBULAK; FRISSEL, 2000). É importante ressaltar que a maior parte dos cruzamentos de estrada ocorre sobre riachos de menor tamanho, por exemplo, na bacia do rio Maquiné (RS, Brasil), onde realizamos o presente estudo, 88% dos cruzamentos ocorrem sobre riachos de 1ª a 3ª ordem, e em estudo realizado no estado de Minas Gerais por Yuhara (2012), cerca de 85% dos cruzamentos estudados ocorrem em riachos com as mesmas características. Cruzamentos sobre riachos deste tamanho geralmente são estruturas de concreto armado e possuem uma manilha para a passagem de água, de formato circular ou retangular, ou correspondem apenas a uma estrutura fina submersa que permite a passagem da água por cima da área pavimentada (CHILIBECK et al., 1993; WARREN JR; PARDEW, 2008) – observar a Figura 1.

Figura 1 – Diferentes tipos de estruturas que caracterizam cruzamentos de estrada através de riachos de pequenas ordens. As três fotos representam cruzamentos da bacia do rio Maquiné (RS). Em A, uma fina lâmina de concreto submersa em tempo integral; em B, bueiros de concreto armado retangulares e; em C, bueiros de concreto armado circulares.



Fonte: arquivo pessoal/mosaico elaborado pelo autor.

1.2 EFEITOS DE ESTRADAS SOBRE O AMBIENTE AQUÁTICO E ICTIOFAUNA

As estruturas nos aterros rodoviários estão posicionadas dentro do corpo aquático, alterando assim a morfologia do canal, por propiciar a retenção de água e detritos a montante e assim eleva a profundidade. Já o contrário é observado no trecho jusante, pois após a passagem nos bueiros a água é liberada com forte energia (EAD et al., 2002; CASTRO-SANTOS, 2004). Esse efeito acaba por criar dois ambientes com características contrárias à montante e à jusante do cruzamento, onde na primeira encontramos uma região de maior profundidade, pouca correnteza e deposição de sedimento fino (<0.06 cm), e na segunda, corredeiras com baixas profundidades entremeadas por rochas de maior dimensão (>65 cm) (CELESTINO et al., 2013; HEDRICK et al., 2009; WELLMAN et al., 2011;).

A estrutura do cruzamento também cria características de habitat que podem influenciar as comunidades (WARREN JR.; PARDEW, 2008). A água é direcionada para dentro da

estrutura, gerando o aumento do volume dentro dos bueiros, que apresentam substrato liso e, por vezes, uma declividade moderada, fazendo com que haja o aumento da velocidade da água em relação à região à montante da construção (CASTRO-SANTOS, 2004; DOEHRING et al., 2012; EAD et al., 2002; HARO et al., 2004). Em grande parte dos casos, os cruzamentos são instalados de uma forma em que é gerado um desnível entre a base de sustentação da estrutura e o leito do riacho, gerando queda da água após a passagem pelos bueiros, que promove a escavação do canal à jusante (BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF TRANSPORTATION AND INFRASTRUCTURE, 2013; FICKE; MYRICK, 2011; NISLOW et al., 2011). Outro fator que afeta o movimento de peixes é a obstrução dos bueiros, pois assim, é perdida uma possibilidade de passagem, além de aumentar o volume de água direcionado para as outras manilhas, potencializando os efeitos de aumento da velocidade de fluxo dentro da estrutura (GIBSON et al., 2005). Assim, o deslocamento da ictiofauna através do cruzamento exige dos indivíduos a capacidade de salto para transpor a queda da água, além de uma resistência à correnteza gerada dentro dos bueiros, gerando um filtro para espécies com menor capacidade natatória (FAIRFULL; WITHERIDGE, 2003; JACOBI et al., 2016) o que leva a fragmentação na população e possível isolamento entre as espécies de montante e jusante.

A partir dessas características, vários estudos têm sido realizados a fim de identificar possíveis efeitos de barreira gerados por cruzamentos em pequenos riachos. Quando comparadas as assembleias em trechos a jusante e a montante do cruzamento, é possível encontrar diferenças significativas entre riqueza e abundância (NISLOW et al., 2011; YUHARA, 2012), sendo que os valores dessas variáveis tendem à ser maiores no trecho à jusante do cruzamento. Resultados semelhantes também são encontrados em estudos que levam em conta a movimentação individual de peixes, utilizando métodos de marcação e recaptura (BENTON et al., 2008) ou monitoramento em tempo real (CELESTINO, 2013), que indicam uma baixa taxa de movimento através da barreira, principalmente em movimentos de ascensão, ou seja de jusante para montante. Esse efeito pode estar relacionado ao formato corporal das espécies, em que as características morfológicas de certos grupos, como lambaris (Characidae) e cascudos (Loricariidae) (MARIANO, 2011; MACPHERSON et al., 2012), diminuem as capacidades natatórias relativas às necessidades geradas pela estrutura dos cruzamentos.

1.4 JUSTIFICATIVA

Existem vários manuais técnicos que fornecem normativas para a construção de cruzamentos de estrada-riacho visando mitigar o efeito de barreira causado sobre o habitat e o deslocamento de peixes em países como o Canadá e os Estados Unidos da América (BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF TRANSPORTATION AND HIGHWAYS, 2011; CHILIBECK et al., 1993; GOSSE et al., 1998), o que se deve em parte pelo valor comercial das espécies que são influenciadas pela construção de cruzamentos como os bueiros e manilhas, como trutas e salmões. Porém, os guias que regem a construção de pontes de concreto armado em nosso país não apresentam diretrizes que levam em consideração os impactos sobre a biodiversidade (ABNT, 2013; DNIT, 2006, 2009), demonstrando a necessidade de desenvolvimento de amparo técnico para realização de laudos e análises de impactos. Além disso, a ictiofauna neotropical que habita esses riachos apresenta padrão corporal diferente dos peixes alvo de estudo no hemisfério norte. O reflexo desse quadro pode ser constatado a partir do estudo de Makrakis et al. (2012), que analisaram 29 cruzamentos (40 bueiros) no Oeste paranaense e classificaram 18 como intransponíveis, 18 apresentando alto risco e quatro apresentando médio risco para o deslocamento de peixes, ou seja, nenhum deles possibilita a passagem plena de peixes.

Com base nesse cenário, se evidencia a necessidade de estudos que avaliem o efeito de estradas no deslocamento de peixes. Assim, com esta pesquisa pretendo fornecer informações que contribuam para melhor entendimento sobre como a movimentação de peixes pode ser afetada por cruzamentos, fornecendo um referencial para profissionais que atuam no licenciamento ambiental. Além disso, espero, ainda, proporcionar um embasamento para órgãos que atuam na construção e gestão de estradas e recursos ambientais.

1.5 OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é, por meio de um estudo de caso, testar se ocorre efeito de cruzamento estradas-riachos sobre o deslocamento de peixes. Para isso, avaliei se o padrão de deslocamento local da espécie de loricarídeo *Rineloricaria aequalicuspis* (REIS; CARDOSO, 2001) parece ser afetado pela presença de uma ponte. Para tanto, utilizei três modelos lineares

mistos para comparar: 1) número de movimentações entre parcelas livres (sem cruzamento) à jusante, à montante e através do cruzamento, 2) movimentos na direção de jusante para montante entre de parcelas livres e através do cruzamento e 3) movimentos na direção de montante para jusante entre de parcelas livres e através do cruzamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Estudos que avaliam o efeito de cruzamentos de estradas sobre a movimentação da icitofauna utilizam diferentes técnicas de detecção de deslocamento em diferentes desenhos amostrais quanto aos tipos de estrutura e as distâncias em relação aos cruzamentos (BENTON et al., 2008; CELESTINO, 2013; JANUCHOWSI-HARTLEY et al., 2014; WARREN JR; PARDEW, 2008). A conclusão é a de que, na maioria das vezes, os cruzamentos geram efeito de barreira para a dispersão das populações (geralmente relacionado com o grupo estudado), seja por efeitos indiretos, como alteração na estrutura do habitat ou por efeitos diretos, como a formação de condições impróprias para passagem dos indivíduos. Assim, nesta sessão, trago dois trabalhos que fazem essa avaliação, evidenciando as suas metodologias e resultados.

Benton et al. (2008) analisaram o efeito de pontes suspensas, com bueiros retangulares (concretadas) e redondas (galvanizadas), sobre a movimentação de espécies de diferentes grupos, como Cypriniformes (*e. g. Campostoma oligolepis*), Cyprinodontiformes (*e. g. Fundulus stellifer*), Perciformes (*e. g. Lepomis sp.*) e Siluriformes (*e. g. Noturus leptacanthus*). A amostragem foi realizada separando as regiões de montante e jusante em três parcelas, onde cada uma delas era composta por uma corredeira. Entre cada parcela foi delimitada por um poção à montante e jusante, além disso, durante a amostragem cada uma delas foi dividida por uma rede de espera. Para a captura de indivíduos foi empregado o método de pesca elétrica. Cada indivíduo recebeu uma marca de elastômero e uma etiqueta única na nadadeira peitoral e foi devolvido no mesmo local. Após um mês, a mesma amostragem foi feita no intuito de recapturar os indivíduos da campanha anterior, possibilitando a análise dos padrões de deslocamento das espécies e se os cruzamentos causaram algum efeito sobre a mesma. Nesse estudo, foram recapturados 418 indivíduos distribuídos em 14 espécies. Destes, 134 apresentaram movimentação ao menos entre uma parcela, sendo que 108 realizaram o movimento entre parcelas apenas do trecho de jusante ou de montante, ou seja, sem a presença do cruzamento entre elas e 23 se moveram através da ponte suspensa, dois através do bueiro retangular (*Micropterus coosa* e *Cottus carolinae*) e um através do bueiro circular (*Fundulus stellifer*), onde todos os movimentos foram realizados no sentido de jusante para montante; concluindo que cruzamentos com bueiros podem atuar como potenciais barreiras para o movimento de peixes de riacho, enquanto pontes permitem a movimentação das espécies.

Celestino (2013) analisou o efeito de um cruzamento com três bueiros quadrados 3 m² e 26 metros de comprimento sobre a movimentação da espécies de loricarídeos *Ancistrus* sp. e *Hipostomus ancistroides*. Os peixes foram coletados utilizando redes de espera e tarrafa em um trecho de 75 metros para a jusante e montante do cruzamento e cada indivíduo foi marcado com um *transponder* que era reconhecido por duas antenas localizadas à três metros para dentro de cada extremidade do bueiro utilizando o sistema de frequência RFID (*radio frequency identification*). Foram detectados 35 indivíduos por ao menos uma antena e, destes, apenas 25 pelas duas, o que configurava uma passagem pelo bueiro. Estes resultados sugerem um efeito de barreira para as duas espécies, com valores semelhantes na taxa de movimentos ascendentes e descendentes; também foi constatada diferença significativa na velocidade de passagem para a montante entre as duas espécies, sendo que *Ancistrus* sp. levou maior tempo na realização do movimento, possivelmente este fato deve estar ligado à capacidade natatória da espécie.

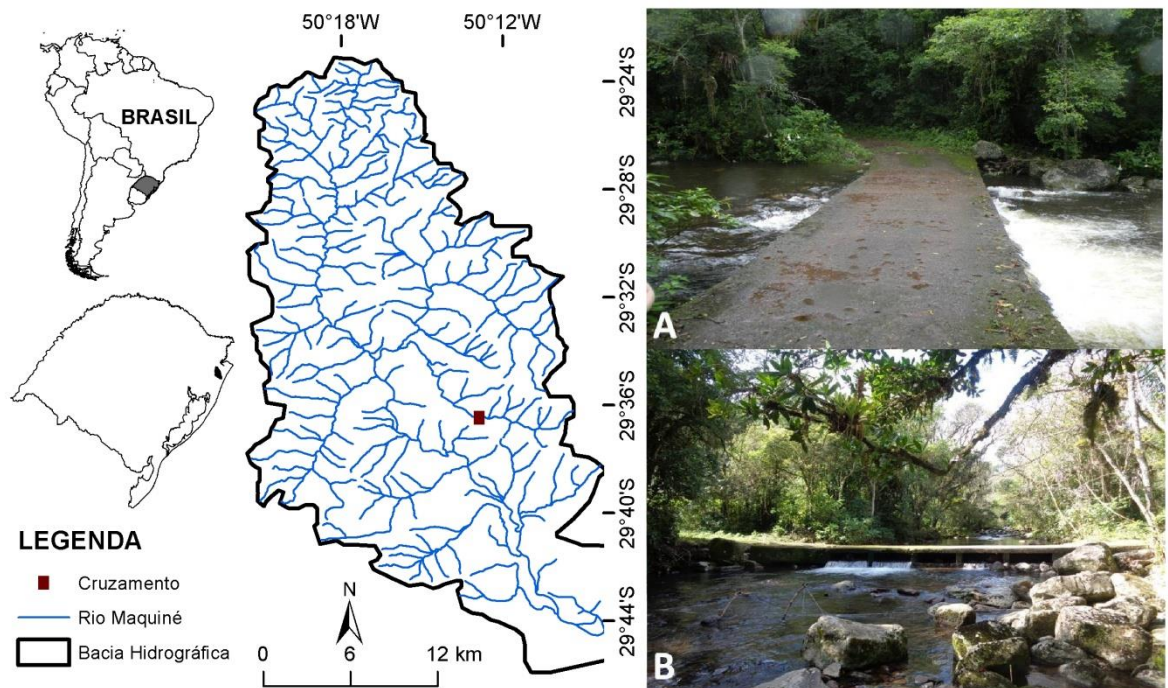
3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta sessão apresenta, num primeiro momento, a área na qual este trabalho foi realizado e, noutra parte, a metodologia empregada para a análise dos padrões de movimento da espécie *R. aequalicuspis*.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Maquiné, no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, possui cerca de 578 km² e uma malha hidrográfica de 611 km; ao longo dessa área ocorrem 98 cruzamentos entre estradas e riachos. Realizei o presente estudo em um cruzamento de concreto localizado no riacho Encantado (29.37° S, 50.13°N). O cruzamento possui cinco bueiros com altura de 45 cm, largura de 155 cm e 3,5 metros de comprimento, fundo de concreto liso e uma queda da água com, em média, 15 cm (Figura 2).

Figura 2 – Localização do cruzamento na bacia hidrográfica do rio Maquiné. Em A, vista lateral e em B, região à jusante da barreira, evidenciando a queda da água

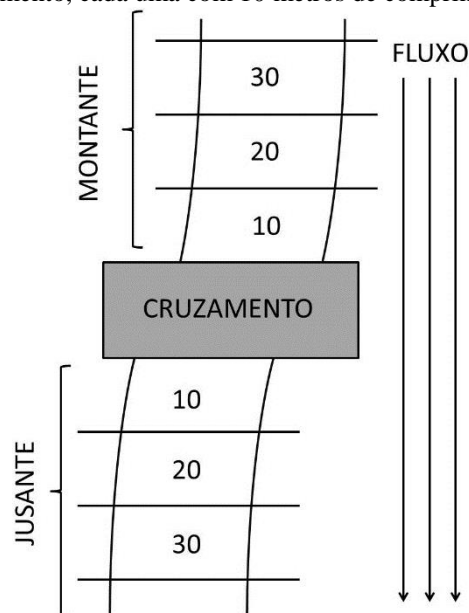


Fonte: elaborado pelo autor

3.2 CAPTURA E MARCAÇÃO DOS PEIXES

O trabalho de campo ocorreu em oito saídas de campo entre os meses de janeiro e setembro (não houve em abril) de 2016, com média de 34 dias de intervalo entre as campanhas. Em cada amostragem delimitei três parcelas amostrais à jusante e três à montante do cruzamento com auxílio de redes de espera (malha de 1,5 cm), cada uma com 10 metros de comprimento, denominadas: J10, J20 e J30 (jusante) e M10, M20 e M30 (montante), conforme a sua respectiva distância do cruzamento (Figura 3).

Figura 3 – Divisão das parcelas à jusante (J10, J20 e J30) e à montante (M10, M20 e M30) do cruzamento, cada uma com 10 metros de comprimento.



Fonte: elaborado pelo autor.

Amostrei os peixes a partir do método de *kick sampling*, utilizando dois puçás retangulares com dimensões de 80 x 40 cm e profundidade do saco de 40 cm (malha = 2 mm). No local da coleta, os puçás eram posicionados junto ao fundo do riacho com a abertura voltada contra a correnteza da água, enquanto duas pessoas causavam um distúrbio local, remexendo o substrato cerca de 1,5 m de distância até chegar nos puçás. Quando capturado um indivíduo de *R. aequalicuspis*, o mesmo era colocado em um balde localizado na margem do riacho e após isso, prosseguia-se a amostragem até o fim da parcela; também foram capturados indivíduos que eventualmente ficaram retidos nas redes de bloqueio entre um parcela e outra.

Em cada parcela, ao finalizar a amostragem, foi tomada a fotografia da região abdominal dos indivíduos, conforme descrito por Dala-Corte et al. (2016), onde cada um deles recebeu um código alfa-numérico para possibilitar a posterior análise de captura e recaptura. Após a manipulação, coloquei os indivíduos em um balde a fim de diminuir o possível estresse causado, e os devolvi ao riacho, na mesma parcela onde ocorreu a captura. Finalizado esse procedimento, iniciava a coleta na próxima parcela para a captura e fotografia dos próximos indivíduos.

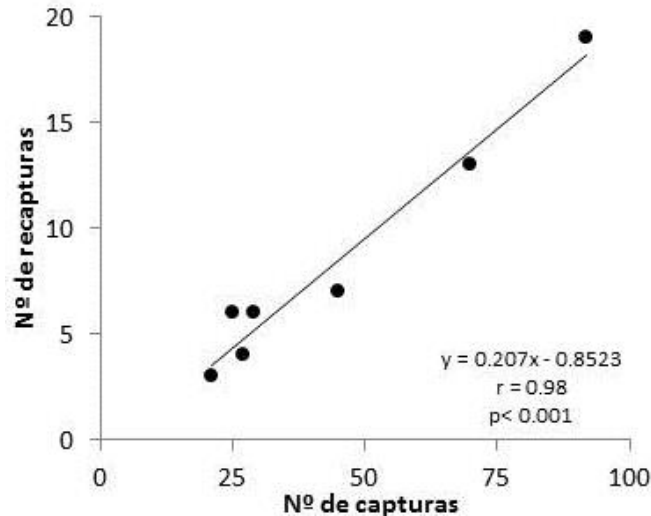
3.3 FOTO IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DOS PADRÕES DE MOVIMENTAÇÃO

Em laboratório, todas as imagens foram comparadas utilizando o software Wild-ID (BOLGER et al., 2011), onde para cada foto de um indivíduo eram apresentadas outras 20, selecionadas pelo programa como as de maior semelhança. Assim, é possível a decisão final de se as duas fotos, tomadas em campanhas diferentes, são (ou não) a captura e recaptura de um mesmo indivíduo. Classifiquei cada uma das recapturas confirmadas em três possíveis padrões de movimento: 1) Indivíduo manteve-se na mesma parcela no período entre captura/recaptura; 2) Indivíduo se deslocou entre parcelas livres de barramento, ou seja, apenas entre parcelas de jusante (J10, J20 E J30) ou de montante (M10, M20 e M30) e 3) Indivíduo se deslocou através do cruzamento. Também contabilizei o deslocamento líquido individual (entre zero e 50 metros) e a direção do movimento (para montante/para jusante).

Para analisar o efeito do cruzamento sobre a movimentação de *R. aequalicuspis* gerei três modelos lineares mistos generalizados, a fim de avaliar a taxa de movimentação realizada através do cruzamento e entre parcelas “livres”, ou seja, sem divisão física. As variáveis utilizadas para cada modelo foram: o número de movimentações, o mês onde ocorreu cada evento, o trecho onde ocorreram (jusante ou montante) e os sentidos (ascendente ou descendente) dos movimentos. Cada deslocamento de 10 metros (entre duas parcelas) foi considerado como um movimento, ou seja, movimentações que ocorreram ao longo de 20 metros (entre três parcelas), por exemplo, foram contabilizadas como dois movimentos. O número de indivíduos capturados e recapturados mensalmente foram fortemente correlacionados ($r= 0.98$; $p < 0.001$) (Figura 4), ou seja, locais e datas onde ocorreram mais capturas, apresentaram mais recapturas, o que possibilita uma maior detecção de movimentos. Assim, o número de movimentos bruto foi

relativizado levando em conta o número de capturas do mesmo mês (janeiro a setembro) para diminuir o efeito temporal sobre os resultados (ver Figura 4 a seguir).

Figura 4 – Número de capturas e recapturas mensais de *R. aequalicuspis*



Fonte: elaborado pelo autor.

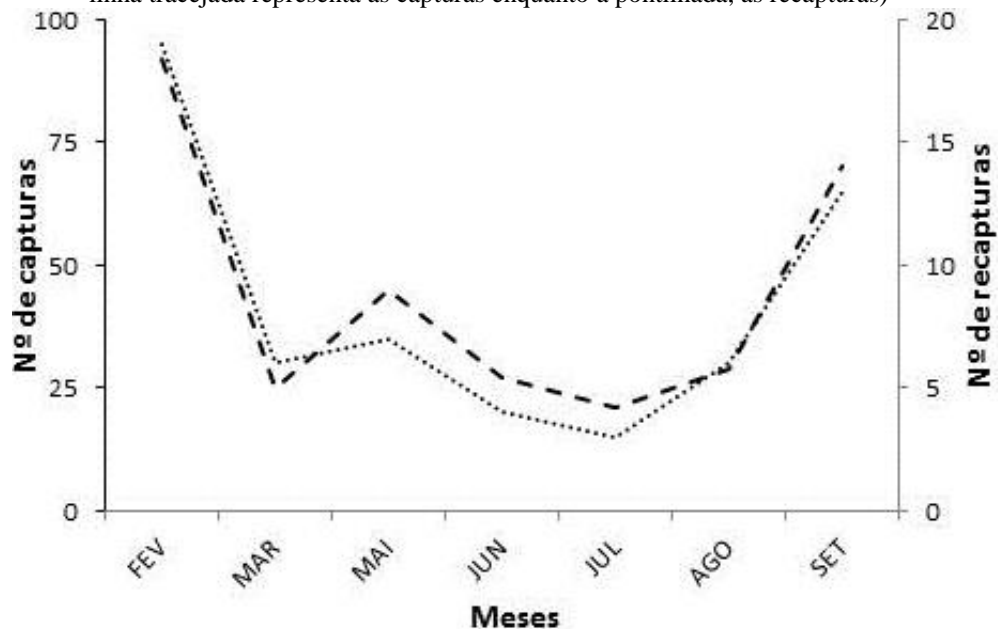
No primeiro modelo, busquei testar se o número de movimentos entre parcelas livres (*i. e.* sem cruzamento) é maior do que os através do cruzamento, dando indícios de um possível efeito de barreira para o deslocamento. Para tanto, utilizei como variável resposta o número de movimentações dentro do trecho de jusante, dentro do trecho de montante e através do cruzamento, independente do sentido (montante para jusante ou vice-versa). O número de movimentos bruto foi dividido pelo número de capturas em cada trecho (montante e jusante) e de ambos os trechos (cruzamento) daquele mês. Após a construção do modelo, a diferença entre movimentos nas diferentes posições foi avaliada a partir do teste Tukey.

Para complementar os resultados obtidos no primeiro teste, gerei mais dois modelos, onde discriminei a direção do movimento, a fim de analisar se o cruzamento pode atuar como barreira apenas em movimentos ascendentes (de jusante para montante) ou descendentes (de montante para jusante). Assim, para o segundo e terceiro modelos, utilizei como resposta o número de movimentações ascendentes e descendentes entre parcelas livres e através do cruzamento. O número de movimentos bruto foi dividido pelo número de capturas para cada mês. Para quantificar a diferença entre cada padrão de deslocamento, novamente realizei um teste de Tukey. Todas as análises foram realizadas no ambiente R (DEVELOPMENT CORE TEAM R, 2015) utilizando o pacote Vegan (OKSANEN et al., 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

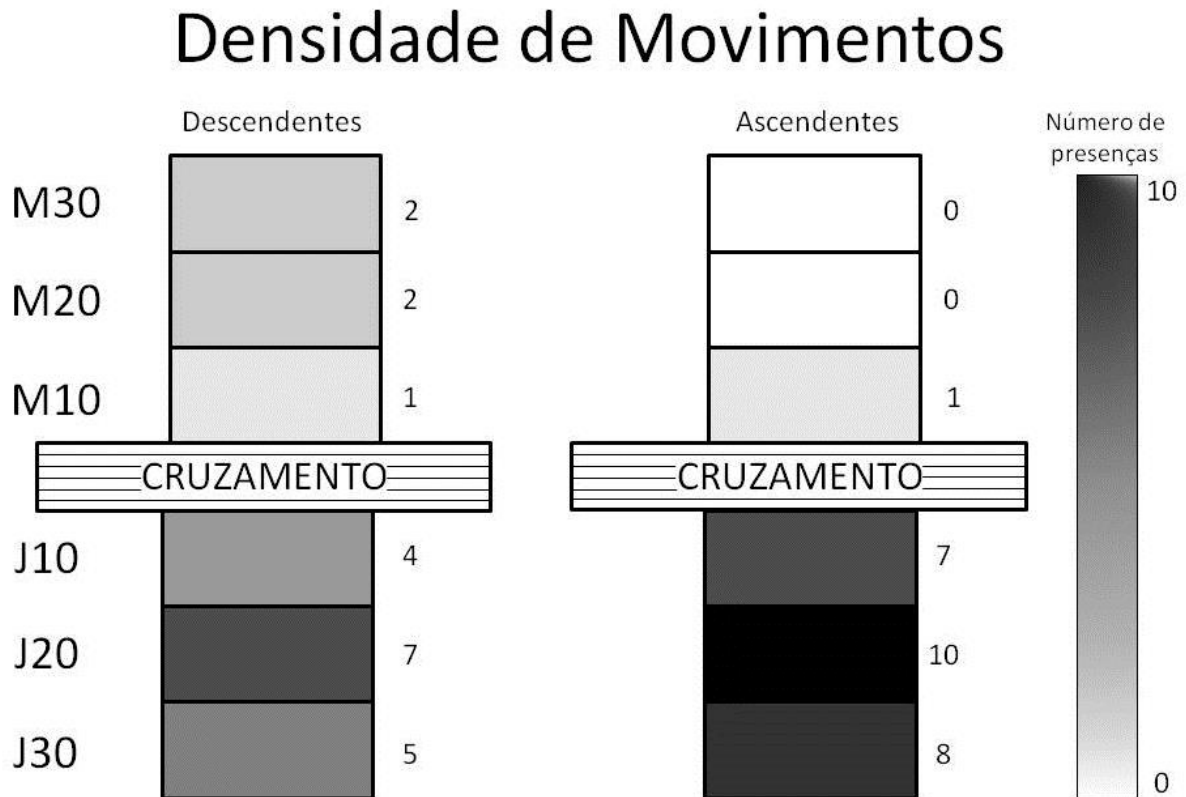
Foram capturados 429 indivíduos ao longo dos oito meses de amostragem, dos quais 58 representaram recapturas de um mesmo indivíduo (13.5%) (Figura 5). Destes, 20 indivíduos apresentaram movimento (35%), ou seja, foram capturados e recapturados em diferentes parcelas, dos quais 19 o fizeram entre parcelas livres e apenas um através do cruzamento. No trecho de jusante ocorreram 17 movimentos, sendo 11 na direção de montante (ascendente) e sete na direção de jusante (descendente). Já na região de montante, ocorreram apenas dois movimentos, ambos na direção de jusante (descendente). A densidade máxima de indivíduos em uma parcela ocorreu em J20, onde houve 17 detecções, 10 em movimentos ascendentes e sete descendentes, seguida por J30 com 12, com oito movimentos ascendentes e cinco descendentes (Figura 6).

Figura 5 – Comparação entre o número de capturas e recapturas mensais de *R. aequalicuspis* (A linha tracejada representa as capturas enquanto a pontilhada, as recapturas)



Fonte: elaborado pelo autor.

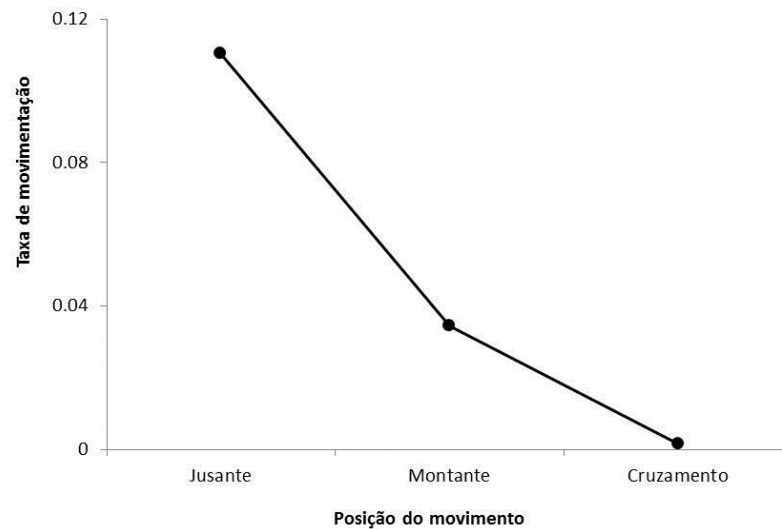
Figura 6 – Mapa de densidades de movimentos. Cores mais escuras simbolizam um maior número de presenças em determinada parcela, seja em eventos de captura, recaptura ou de passagem



Fonte: elaborado pelo autor.

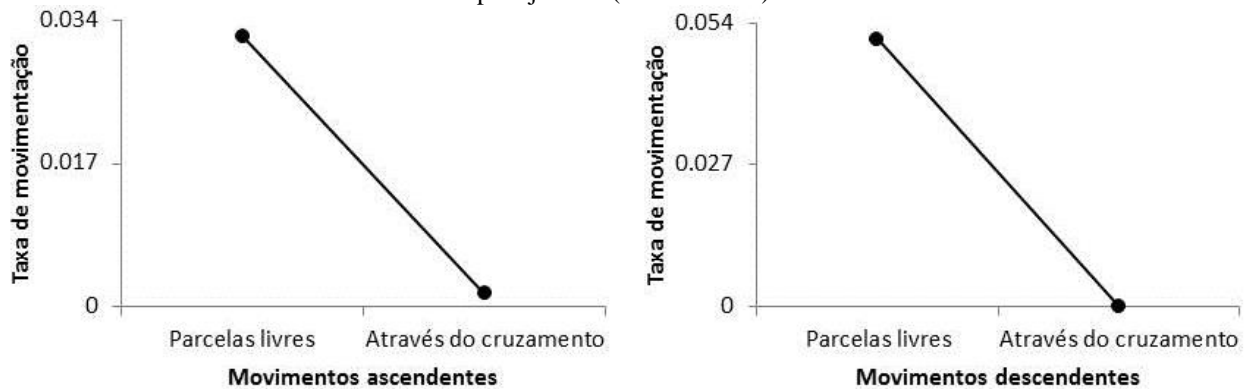
O número de movimentos no trecho de jusante foi significativamente diferente dos realizados em montante ($t = -2.4$; $P < 0.05$). Foi possível encontrar diferença com movimentos realizados através do cruzamento ($t = -3.50$ $P = 0.001$), (Figura 7). Já quando analisei o sentido dos movimentos realizados, encontrei que há diferença entre as movimentações realizadas entre parcelas livre e através do cruzamento, tanto para os movimentos ascendentes ($t = -2.50$ $P = 0.01$), quanto para os descendentes ($t = -4,02$ $P < 0.001$) (Figura 8).

Figura 7 – Taxa de movimento entre os trechos de jusante e montante entre parcelas livres e através do cruzamento



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8 - Taxa de movimentos entre parcelas livres na direção de jusante para montante (ascendentes) e de montante para jusante (descendentes)



Fonte: elaborado pelo autor.

Houve diferença significativa na taxa de movimento entre parcelas livres à jusante e aquela através do cruzamento, independente do sentido do movimento (ascendente ou descendente) (Fig. 7; Fig. 8), evidenciando que pode estar ocorrendo um efeito de filtro para a movimentação da espécie. Tal efeito pode ser explicado pela influência direta da estrutura do cruzamento, que dificulta a passagem dos organismos, como a configuração dos bueiros, que apresentam substrato liso, sendo ausentes estruturas como chicanas, que visem a diminuição da

velocidade de fluxo e áreas de escape durante o movimento dos indivíduos, dificultando a passagem (CASTRO-SANTOS, 2004; EAD et al., 2002), isso faz com que os indivíduos não consigam atravessar toda a extensão da bueiro provavelmente por fadiga natatória antes de transpor a barreira (FAIRFULL; WITHERIDGE, 2003). Já outra possível barreira, principalmente para o movimento ascendente, é a queda da água gerada pelo desnível entre o cruzamento e o riacho (BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF TRANSPORTATION AND INFRASTRUCTURE, 2013; FICKE; MYRICK, 2011), que dificulta consideravelmente a passagem de espécies com baixa capacidade de salto como, por exemplo, loricarídeos (CELESTINO, 2013; MACPHERSON et al, 2012; MARIANO, 2011).

Também foi possível constatar que a movimentação entre os trechos de montante e jusante apresentaram diferença significativa. Esse efeito pode estar relacionado às alterações do habitat geradas pelo cruzamento, que causa um efeito de represamento, atuando principalmente nas condições de velocidade de fluxo, profundidade e deposição de sedimentos, gerando trechos de águas calmas, profundas e de substratos com sedimento fino (CELESTINO et al., 2013; WELLMAN et al., 2011). Essas alterações podem diminuir a adequabilidade ambiental para a espécie *R. aequalicuspis*, pois a espécie, assim como a maior parte de família Loricariidae, apresenta características morfológicas (*e. g.* corpos deprimidos, nadadeiras peitorais amplas) que refletem a seleção para ambientes com maior energia de fluxo e rochas de maior calibre (BECKER, 2002; CAMANA et al., 2016; CASATTI; CASTRO, 2006). Com a diminuição da densidade de indivíduos, diminuí a necessidade de deslocamentos na procura de recursos do ambiente para as necessidades básicas da espécie (BJORNN, 1971; CLOSE; ANDERSON, 1992; CRISP, 1993). Assim, o cruzamento pode estar atuando indiretamente na movimentação da espécie a partir de alterações no habitat à montante, porém, mais estudos da espécie são necessários. Além disso, o método empregado na captura de indivíduos (*kick sampling*) é mais efetivo em ambientes como os encontrados no trecho de jusante, o que pode ter aumentado a nossa amostra nessa região.

Dado que durante os meses de amostragem é improvável que tenha havido eventos de mortalidade ou recrutamento em massa¹, é plausível deduzir que a baixa taxa de recaptura que encontrei se deva a deslocamento dos indivíduos além do local de amostragem, limitado a um único trecho de 60 metros de riacho e talvez insuficiente para recapturar indivíduos que tenham

¹ Estudo sobre a história de vida da espécie será realizado para buscar sustentação a essa premissa.

se deslocado a distâncias maiores. Uma possível explicação para esse padrão é o paradigma do movimento restrito. Essa teoria sugere que o deslocamento dos indivíduos de espécies sedentárias, ou seja, com pequena área de vida (i. e. home range), podem se deslocar maiores distâncias do que o estimado (GOWAN et al, 1994; GOWAN; FAUSCH, 1996), como parece ser o caso de *R. aequalicuspis*, um cascudo de pequeno tamanho e – aparentemente – não migrador. Assim, apesar de alguns indivíduos terem permanecido na sua parcela e/ou se deslocado 10 a 20 metros, outra parcela da população pode ter cobrido maiores distâncias, semelhante ao resultado encontrado por Smithson e Jonhston (1999), indicando que a nossa área amostral não esteja totalmente adequada para a detecção de efeitos do cruzamento sobre o deslocamento de indivíduos de *R. aequalicuspis*. Adicionalmente, também posso destacar a necessidade da réplica da metodologia em trechos com a mesma distância em regiões sem a presença de cruzamentos, o que pode aumentar a real compreensão do efeito de filtro causado por estruturas viárias construídas no nível da água.

4.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este estudo, encontrei indícios de que um cruzamento de estrada sobre o riacho com bueiros quadrados gera um possível efeito de filtro para o deslocamento de *Rineloricaria aequalicuspis*, seja por alterações indiretas, como alteração de habitat local, ou por ações diretas, como a restrição da passagem pelos bueiros. Assim, ressalto a necessidade de estudos que subsidiem cientificamente a proposição de normas para a construção de estruturas de concreto armado em cruzamentos estrada-riacho e que levem em consideração os impactos sobre os ambientes aquáticos e o seu impacto sobre o deslocamento de peixes, com enfoque na ictiofauna de riachos neotropicais. Além disso, também foi possível iniciar os estudos acerca do deslocamento da espécie, onde encontramos indivíduos que permaneceram na mesma parcela, ou que se deslocaram entre 10 e 20 metros ou realizaram um movimento maior do que o nosso desenho amostral de 60 metros permite precisar. Esse tipo de informação é desconhecido para a maioria das espécies de Loricariidae, especialmente aquelas de riachos, evidenciando a importância de mais pesquisa para a compreensão de padrões ecológicos, para compreensão dos impactos ambientais potenciais das estradas e, mais que isso, a busca por medidas de manejo que mitiguem os impactos gerados cruzamentos estrada-riacho sobre peixes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Projeto de pontes de concreto armado e de concreto protendido – Procedimento. Rio de Janeiro: Associação brasileira de normas técnicas. 30 de abril de 2004. p. 11.
- BECKER, F. G. Distribuição e abundância de peixes de corredeiras e suas relações com características de hábitat local, bacia de drenagem e posição espacial em riachos de Mata Atlântica (bacia do Rio Maquiné, RS, Brasil). Maio de 2002. 187 f. Tese. UFSCAR. São Carlos. 2002.
- BENTON, P. D.; ENSIGN, W. E.; FREEMAN, B. J. The effect of road crossings on fish movements in small Etowah Basin streams. *Southeastern Naturalist*, v. 7, n. 2, p. 301-310, 2008.
- BJORN, T. C. Trout and salmon movements in two Idaho streams as related to temperature, food, stream flow, cover, and population density. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 100, n. 3, p. 423-438, 1971.
- BOLGER, D. T.; MORRISON T. A.; VANCE B.; LEE D.; H. FARID. A computer-assisted system for photographic mark–recapture analysis. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 3, p. 813-822, 2012.
- BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF TRANSPORTATION AND INFRASTRUCTURE. Culverts and fish passage. British Columbia. Maio de 2013.
- CAMANA, M.; DALA-CORTE, R. B.; BECKER, F. G. Relation between species richness and stream slope in riffle fish assemblages is dependent on spatial scale. *Environmental Biology of Fishes*, v. 99, n. 8-9, p. 603-612, 2016.
- CASATTI, L.; CASTRO, R. Testing the ecomorphological hypothesis in a headwater riffles fish assemblage of the rio São Francisco, southeastern Brazil. *Neotropical Ichthyology*, v. 4, n. 2, p. 203-214, 2006.
- CASTRO-SANTOS, T. Quantifying the combined effects of attempt rate and swimming capacity on passage through velocity barriers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 61, n. 9, p. 1602-1615, 2004.
- CELESTINO, E. F.; MAKRAKIS, S.; KASHIWAQUI, E. A. L., CELESTINO, L. F., MAKRAKIS, M. C., & MARIANO, J. R. Environmental conditions in river segments intercepted by culverts. *Revista Brasileira de Biociências*, v. 11, n. 4, 2013.
- CELESTINO, L. F. Movimentação de duas espécies de Loricariidae através de bueiro em riacho neotropical: desempenho na passagem e comportamento diário. 30 de julho de 2013. 22 f. Dissertação. UNIOESTE. Toledo. 2013.

- CHILIBEK, B. Fish passage and culverts in: CHILIBEK, B (Ed) Land Development Guidelines for the Protection of Aquatic Habitat. Victoria: Department of Fisheries and Oceans, setembro de 1993. p. 69 – 80.
- CLOSE, T. L.; ANDERSON, C. S. Dispersal, density-dependent growth, and survival of stocked steelhead fry in Lake Superior tributaries. *North American Journal of Fisheries Management*, v. 12, n. 4, p. 728-735, 1992.
- CRISP, D. T. Population densities of juvenile trout (*Salmo trutta*) in five upland streams and their effects upon growth, survival and dispersal. *Journal of Applied Ecology*, v. 30, p. 759-771, 1993.
- DALA-CORTE, R. B.; MOSCHETTA, J. B.; BECKER, F. G. Photo-identification as a technique for recognition of individual fish: a test with the freshwater armored catfish *Rineloricaria aequalicuspis* Reis & Cardoso, 2001 (Siluriformes: Loricariidae). *Neotropical Ichthyology*, v. 14, n. 1, e150074. 2016.
- DEVELOPMENT CORE TEAM R. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, <https://www.r-project.org>. 2015.
- DNIT. Manual de drenagem de rodovias. Rio de Janeiro: Departamento nacional de infraestrutura de transportes. 2006. p. 327
- _____. Pontes e viadutos rodoviários – Estruturas de concreto armado - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: Departamento nacional de infra-estrutura de transportes. 2009. p. 9.
- DOEHRING, K.; YOUNG, R. G.; MCINTOSH, A. R. Facilitation of upstream passage for juveniles of a weakly swimming migratory galaxiid. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, v. 46, n. 3, p. 303-313, 2012.
- EAD, S. A.; RAJARATNAM, N.; KATOPODIS, C. Generalized study of hydraulics of culvert fishways. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 128, n. 11, p. 1018-1022, 2002.
- FAIRFULL, S.; WITHERIDGE, G. Why do fish need to cross the road? Fish passage requirements for waterway crossings. Cronulla: NSW Fisheries. 2003. p. 16.
- FICKE, A. D.; MYRICK, C. A.; JUD, N. The swimming and jumping ability of three small Great Plains fishes: implications for fishway design. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 140, n. 6, p. 1521-1531, 2011.
- FORMAN, R. T.; ALEXANDER, L. E. Roads and their major ecological effects. *Annual review of ecology and systematics*, v. 29, 207-232, 1998.
- FURNISS, M. J.; ROELOFS, T. D.; YEE, C. S. Road construction and maintenance. In: HABITATS T. (org). American Fisheries Society Special Publication 19, Barlow Place: Bethesda: American Fisheries Society. p. 297-323.

GIBSON, R. J.; HAEDRICH, R. L.; WERNERHEIM, C. M. Loss of fish habitat as a consequence of inappropriately constructed stream crossings. *Fisheries*, v. 30, n. 1, p. 10-17, 2005.

GOSSE, M.M; POWER, A. S.; HYSLOP, D. E.; PIERCE S. L. Watercourse crossings. In: GOSSE, M.M; POWER, A. S.; HYSLOP, D. E.; PIERCE S. L (Orgs). Guidelines for protection of freshwater fish habitat in Newfoundland and Labrador. Victoria: Department of Fisheries and Oceans, maio de 1998. p. 37 – 54.

GOWAN, C.; FAUSCH, K. D. Mobile brook trout in two high-elevation Colorado streams: reevaluating the concept of restricted movement. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 53, n. 6, p. 1370-1381, 1996.

GOWAN, C.; YOUNG, M. K.; FAUSCH, K. D.; RILEY, S. C. Restricted movement in resident stream salmonids: a paradigm lost?. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 51, n. 11, p. 2626-2637, 1994.

HARO, A.; CASTRO-SANTOS, T.; NOREIKA, J.; ODEH, M. Swimming performance of upstream migrant fishes in open-channel flow: a new approach to predicting passage through velocity barriers. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 61, n. 9, p. 1590-1601, 2004.

HARPER, D. J.; QUIGLEY, J. T. No net loss of fish habitat: a review and analysis of habitat compensation in Canada. *Environmental Management*, v. 36, n. 3, p. 343-355, 2005.

HEDRICK, L. B.; WELSH, S. A.; ANDERSON, J. T. Influences of high-flow events on a stream channel altered by construction of a highway bridge: a case study. *Northeastern Naturalist*, v. 16, n. 3, p. 375-394, 2009.

JACOBI, C.; DE FRIES, L. C. C.; BECKER, F. G. Ecomorfologia como ferramenta para prever a capacidade de transpor obstáculos artificiais em riachos. In: Salão de iniciação científica, XXVII, 2016. UFRGS. *Resumos...* Porto Alegre. p. 1

JANUCHOWSKI-HARTLEY, S. R.; DIEBEL, M.; DORAN, P. J.; MCINTYRE, P. B. Predicting road culvert passability for migratory fishes. *Diversity and Distributions*, v. 20, n. 12, p. 1414-1424, 2014.

MACPHERSON, L. M.; SULLIVAN, M. G.; FOOTE, A. L.; STEVENS, C. E. Effects of culverts on stream fish assemblages in the Alberta foothills. *North American Journal of Fisheries Management*, v. 32, n. 3, p. 480-490, 2012.

MAKRAKIS, S.; CASTRO-SANTOS, T.; MAKRAKIS, M. C.; WAGNER, R. L.; ADAMES, M. S. Culverts in paved roads as suitable passages for Neotropical fish species. *Neotropical Ichthyology*, v. 10, n. 4, p. 763-770, 2012.

MARIANO, J. R. Desconexão longitudinal de habitats em riachos neotropicais: Ictionese sob influência de tubulações. 19 de agosto de 2011. 30 f. Dissertação. UNIOESTE. Toledo. 2011.

NISLOW, K. H.; HUDY, M.; LETCHER, B. H.; SMITH, E. P. Variation in local abundance and species richness of stream fishes in relation to dispersal barriers: implications for management and conservation. *Freshwater Biology*, v. 56, n. 10, p. 2135-2144, 2011.

OKSANEN, J.; KINDT, R.; LEGENDRE, P.; O'HARA, B.; STECENS, M. H. H; OKSANEN, M. J. Suggests, M. The vegan package. Oulu, Finland. 2007.

PÉPINO, M.; RODRÍGUEZ, M. A.; MAGNAN, P. Assessing the detectability of road crossing effects in streams: mark-recapture sampling designs under complex fish movement behaviours. *Journal of Applied Ecology*, 2016.

REIS, R. E.; CARDOSO, A. R. Two new species of *Rineloricaria* from southern Santa Catarina and northeastern Rio Grande do Sul, Brazil (Teleostei: Loricariidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters*, v. 12, n. 4, p. 319-332, 2001.

SMITHSON, E. B.; JOHNSTON, C. E. Movement patterns of stream fishes in a Ouachita Highlands stream: an examination of the restricted movement paradigm. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 128, n. 5, p. 847-853, 1999.

TROMBULAK, S. C.; FRISSELL, C. A. Review of ecological effects of roads on terrestrial and aquatic communities. *Conservation biology*, v. 14, n. 1, p. 18-30, 2000.

WARREN JR M. L.; PARDEW, M. G. Road crossings as barriers to small-stream fish movement. *Transactions of the American Fisheries Society*, v. 127, n. 4, p. 637-644, 1998.

WELLMAN, J. C.; COMBS, D. L.; COOK, S. B. Long-term impacts of bridge and culvert construction or replacement on fish communities and sediment characteristics of streams. *Journal of Freshwater Ecology*, v. 15, n. 3, p. 317-328, 2000.

YUHARA, T. Y. Avaliação do impacto da utilização de manilhas na construção de estradas sobre ambientes aquáticos e na ictiofauna em duas rodovias na região sul de Minas Gerais. 23 de fevereiro de 2012. 68 f. Dissertação. UFLN. Lavras. 2012.