

# Modelagem estatística de distribuição de peixes migradores como subsídio ao licenciamento de barramentos na bacia Camaquã, RS

Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues

José Ricardo Barradas

Thaíz Paz Alves

Nelson Ferreira Fontoura

**RESUMO:** O objetivo do presente trabalho foi identificar o padrão de distribuição longitudinal de peixes migradores nos rios da bacia hidrográfica do rio Camaquã, Rio Grande do Sul, propondo um modelo probabilístico de distribuição presumida baseado em parâmetros ambientais geomorfológicos. O programa de amostragens compreendeu um conjunto de 32 entrevistas com pescadores locais, distribuídas amplamente em 28 pontos distintos nos principais rios da bacia. A probabilidade de ocorrência de cada espécie de peixe migrador foi estimada através do ajuste de equação logística modificada (LOGIT), utilizando área de bacia e altitude como descritores ambientais. *Prochilodus lineatus* (grumatã) apresentou presença prevista em altitudes de até 160m e área de bacia superior a 2.650 km<sup>2</sup>, *Salminus brasiliensis* (dourado) teve ocorrência prevista em até 78m de altitude e área de bacia superior a 2.980 km<sup>2</sup>, enquanto que *Leporinus obtusidens* (piava) distribuiu-se em altitudes de até pouco mais de 150m e área de bacia superior a 370 km<sup>2</sup>, enquanto que *Pimelodus pintado* (pintado) apresentou presença prevista em altitudes de até 135m e área de bacia superior a 65 km<sup>2</sup>. As aderências totais dos modelos de distribuição presumida variaram entre 83 e 93%, sugerindo que os parâmetros altitude e área de bacia apresentam, conjuntamente, um bom caráter preditivo para a estimativa do padrão de distribuição de peixes migradores na bacia do rio Camaquã.

**PALAVRAS-CHAVE:** peixes migradores, modelagem estatística, licenciamento, barragem.

**ABSTRACT:** The objective of this study was to identify longitudinal distribution patterns of migratory fish in the Camaquã river basin (Rio Grande do Sul, southern Brazil), proposing a statistical distribution model based on environmental geomorphological parameters. The sampling program comprised 32 interviews with local fishermen in 28 different sampling points distributed along the major rivers of the basin. Presence probability was estimated by using a modified logistic function (LOGIT), applying altitude and basin area as environmental descriptors. *Prochilodus lineatus* (grumatã) is present in altitudes up to 160m with basin area larger than 2.650 km<sup>2</sup>, *Salminus brasiliensis* (dourado) showed estimated presence under 78m and basin area up to 2.980 km<sup>2</sup>, *Leporinus obtusidens* (piava) had expected occurrence up to 150m and basin area superior than 370 km<sup>2</sup>, whereas *Pimelodus pintado* (pintado) presented estimated presence in areas under 135m and basin area up to 65 km<sup>2</sup>. The total adherence of the presumed distribution model ranged from 83% to 93%, suggesting that the parameters altitude and basin area presents a good predictive character.

**KEY-WORDS:** migratory fish, statistical modeling, licensing, dam.

## INTRODUÇÃO

A produção de energia através de usinas hidrelétricas constitui-se em um forte impacto sobre as populações de peixes migradores (Hall, 1972). No Brasil, cerca de 90% da energia elétrica consumida é produzida por hidrelétricas (Petrere *et al.*, 2002),

registrando-se aproximadamente 4.360 barramentos (Silveira & Cruz, 2005). A matriz energética brasileira apresenta ainda o agravante de que a maior parte dos empreendimentos encontra-se localizado em região de planalto ou de planície, onde os rios são caracterizados por grande vazão e pequena declividade. Assim, o barramento é freqüentemente uma obra de

grande envergadura (Kelman et al., 2002), gerando menor variação sazonal de vazão a jusante (Andrade & Braga, 2005), o que afeta importantes aspectos da biologia de peixes, tal como disponibilidade de alimento e reprodução (Lowe-McConnell, 1999). Destaca-se ainda que, tanto em clima tropical como em clima temperado, a maioria das espécies de peixes apresenta uma periodicidade sazonal em seu processo reprodutivo, complementando sua maturação gonadal apenas sob condições ambientais adequadas ao desenvolvimento da prole (Vazzoler, 1996).

Neste contexto, a sucessão de barramentos e a regularização do fluxo de água vêm comprometendo o desenvolvimento de muitas espécies de peixes, pois com sua grande variedade de estratégias e táticas de vida, os peixes se adaptaram a ambientes nos quais as condições bióticas e abióticas variam sazonalmente. Assim, parte do problema reside no fato de que a flutuação de vazão em condições naturais raramente coincide com a flutuação necessária para o uso de água, inclusive para a produção de energia elétrica (Kelman et al., 2002).

Muitas espécies de peixes migradores apresentam padrões similares de comportamento, necessitando percorrer muitos quilômetros para que haja estimulação dos órgãos sexuais e conseqüente desenvolvimento dos gametas. A desova ocorre sempre no mesmo local, comumente acima do local de alimentação dos adultos. A corrente predominante carrega os ovos e as larvas para áreas onde se desenvolverão. Neste local, os jovens se alimentarão e crescerão até se tornarem suficientemente grandes para unirem-se ao estoque principal (Pitcher & Hart, 1982).

Na região Neotropical, 15% das espécies descritas apresentam características migradoras (Carolsfeld et al., 2003), onde a área de bacia necessária para que se complete o ciclo reprodutivo pode chegar a 40.000 km<sup>2</sup> (Godoy, 1987). Com vistas a permitir a viabilidade populacional de espécies de peixes migradores, a legislação brasileira tornou obrigatória a implantação de passagens de peixes (escadas) já em 1927, cerca de dezesseis anos após o surgimento das primeiras questões envolvendo as passagens de peixes em barragens (Lei nº 2.250; Centrais Elétricas do Sul do Brasil S/A, 1985).

As passagens de peixes foram os primeiros esforços para minimizar os impactos das barragens, seguidas da regulação da pesca e estocagem (Gomes et al., 2004). Entre 1911 e 1985, muitas escadas de peixes foram construídas no país (Bertoletti, 1987). Porém, muitas barragens são desprovidas de estações de piscicultura

ou passagens para os peixes, e aquelas que os têm, na maioria das vezes são ineficientes (Bertoletti, 1985).

A construção de escadas de peixes em barragens brasileiras foi historicamente motivada pelo sucesso na migração de salmonídeos no hemisfério norte. Contudo, diferenças básicas entre o ciclo de vida desses peixes e os migradores neotropicais não foram consideradas (Agostinho et al., 2004). O insucesso das escadas pode estar relacionado, por exemplo, à sua elevada seletividade e ao movimento populacional essencialmente unidirecional.

De modo geral, a construção de escadas de peixes no Brasil não considera as características técnicas relacionadas aos barramentos e à natureza da ictiofauna, aumentando o risco de insucesso (Agostinho et al., 2002). Além disso, após a construção destas estruturas não costumam ser conduzidos estudos de eficácia para adequação ou aprimoramento das mesmas (Gomes et al., 2004).

De qualquer forma, as alterações antropogênicas dos sistemas límnicos não são os únicos fatores influenciando o padrão de distribuição longitudinal da ictiofauna. Seguindo o percurso de um rio, das cabeceiras até as áreas baixas, existem inúmeras alterações naturais na fisionomia do hábitat. O resultado normalmente observado é que a riqueza de espécies aumenta na direção da foz (Reyes-Gavilán et al., 1996). Nas áreas de maior altitude tanto as condições físicas como químicas são mais estressantes, e um menor número de espécies apresenta adaptações para sobreviver em tais condições (Matthews & Styron, 1981).

Sem dúvida, o limite de distribuição das espécies é influenciado por inúmeros fatores que se combinam ou interagem para produzir os padrões encontrados na natureza (Hall et al., 1992). A altitude, por exemplo, parece se refletir amplamente nas condições hidrodinâmicas e morfológicas de um rio. Aliada a fatores como condutividade, pH, temperatura, declividade e velocidade de corrente, a altitude é capaz de produzir um gradiente ambiental que exerce grande influência sobre a riqueza de espécies em cada região (Pouilly et al., 2006). Suárez & Petrere (2007), por exemplo, identificaram a altitude como a variável com maior valor explicativo na descrição do padrão de distribuição de peixes na bacia do rio Iguatemi.

Além da altitude, o volume de água drenado para um determinado ponto também parece exercer grande influência no padrão de distribuição íctica. Estudos em rios tropicais indicam que a riqueza das espécies

está positivamente relacionada a diversas características, dentre elas o volume de água (Garutti, 1988). Quando a altitude diminui, há um aumento na área de superfície e na profundidade do rio (Schlosser, 1987). Assim, o volume de água e a área de sobrevivência aumentam, permitindo o estabelecimento de peixes maiores (Vázquez *et al.*, 1979).

O uso de altitude e área de bacia como preditores para modelos de distribuição de peixes já foi empregado por Alves & Fontoura (2009) e Gonçalves (2010) para as bacias do rio Jacuí e Uruguai respectivamente, ambas localizadas no sul do Brasil. A precisão dos modelos para a presença estimada ficou acima de 80% para ambas as bacias, sugerindo que altitude e área de bacia apresentam um bom caráter preditivo para a modelagem ecológica do padrão de distribuição de peixes migradores.

Embora seja amplamente conhecido que diversos fatores ambientais podem influenciar o padrão de distribuição das espécies, em se tratando de uma escala regional, o uso de fatores de simples e fácil acesso através de Sistemas de Informação Geográfica podem ser convenientes para a modelagem dos padrões de distribuição ao longo dos rios (Matthews *et al.*, 1992; Pouilly *et al.*, 2006).

Desta forma, o presente estudo objetivou identificar, modelar e mapear o padrão de distribuição longitudinal histórica de peixes migradores de longa distância na bacia hidrográfica do rio Camaquã. Para o presente estudo serão computados como migradores de longa distância as espécies *Prochilodus lineatus* (grumatã), *Salminus brasiliensis* (dourado), *Leporinus obtusidens* (piava) e *Pimelodus pintado* (pintado), seguindo o proposto por Alves & Fontoura (2009) para a bacia do rio Jacuí, pertencente ao mesmo sistema biogeográfico e com o mesmo conjunto geral de espécies, excetuadas as áreas de cabeceira. Embora a bacia do rio Camaquã não apresente potencial significativo em termos de grandes centrais hidrelétricas, duas PCHs encontram-se em fase de licenciamento, Abranjo I e II, com potência outorgada de 7000 kW.

## METODOLOGIA

### Descrição da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, situada na porção centro-leste do Estado do Rio Grande do Sul, e compõe, juntamente com as bacias do Guaíba (Jacuí, Caí, Taquari, Gravataí e Sinos) e Lagoa Mirim – São Gonçalo, o Sistema Laguna dos Patos. A Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã possui uma

superfície aproximada de 24.000 Km<sup>2</sup>, englobando, total ou parcialmente, 26 municípios, com população total de 240 mil habitantes. O rio Camaquã e seus afluentes encontram-se sobre as províncias geomorfológicas do Escudo Sul-rio-grandense e da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. O clima da região, segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cfa nas regiões baixas junto à Laguna dos Patos, e Cfb nas partes mais altas da Serra do Sudeste, com médias anuais de temperatura de 18,9 °C, e de precipitação de 1.234 mm, apresentando regular distribuição intra-anual de chuvas, porém com alguma elevação no período de maio a setembro, coincidindo com o inverno (Moreno, 1961).

### Programa de amostragem

O levantamento de dados foi desenvolvido ao longo de três expedições a campo percorrendo a calha principal do rio Camaquã, bem como seus principais afluentes. Considerando a dificuldade de captura de espécies de baixa densidade, com elevada probabilidade de caracterização de falsa ausência, optou-se pela tomada de dados de presença/ausência exclusivamente através de entrevistas com moradores antigos e pescadores locais, seguindo-se recomendação de Alves & Fontoura (2009).

As expedições foram feitas nos meses de janeiro, fevereiro e março de 2010, aproveitando-se a malha rodoviária e seus pontos de cruzamento com os rios em análise. Cada local foi fotografado e georreferenciado através do aparelho GPS (Garmin 76 CSX). Foram realizadas 32 entrevistas com moradores antigos e pescadores locais em 28 pontos distintos, com ampla cobertura espacial na bacia hidrográfica. Cada entrevista constituía-se da apresentação de uma cartela com fotografias coloridas dos peixes de interesse, sendo o entrevistado indagado sobre a presença das mesmas no local específico da entrevista. Em função do caráter de mapeamento histórico dos modelos pretendidos, considerou-se uma espécie com presente mesmo que a mesma se encontrasse desaparecida recentemente, mas estivesse presente em qualquer momento do passado coberto pela experiência de vida do entrevistado.

### Base cartográfica

Todos os produtos cartográficos foram elaborados através do software IDRISI Andes, com base em um modelo numérico do terreno (MNT) obtido a partir do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com

altitude radar em *pixel* de 90 por 90 m para o sistema de referência oficial brasileiro (SAD69) e recorte por unidade de federação (Weber *et al.*, 2004).

A determinação da área de bacia foi obtida através de três passos básicos: (1) primeiramente foi realizada a homogeneização da imagem do MNT com a aplicação do *Filter Min 3x3*; (2) criaram-se, então, caminhos com elevações monotonicamente decrescentes através da opção *Pit Removal*; e a seguir (3), aplicou-se a função *Runoff* para estimativa da área de bacia de montante para cada *pixel*, corrigindo-se o número de *pixels* para área real em km<sup>2</sup>. A matriz de hidrografia foi então gerada substituindo-se por zero cada *pixel* com drenagem inferior 10 km<sup>2</sup> e por um os *pixels* com drenagem superior a 10 km<sup>2</sup>. Esta máscara binária da hidrografia da bacia Camaquã, uma vez multiplicada pelos MNT de altitude e área de bacia, resultou nos *layers* de descritores ambientais empregados para a construção do modelo probabilístico de distribuição de peixes migradores.

### Análise de dados

A probabilidade de ocorrência para cada espécie de peixe migrador ao longo da bacia do rio Camaquã foi estimada através de uma equação logística (LOGIT) modificada pela incorporação de parâmetros que expressassem diretamente, e em escala real, os limites de ocorrência das espécies (*PMF\_Altitude*, *PMF\_Área\_Bacia*), utilizando-se modelo proposto por Gonçalves (2010):

$$P = \frac{e^{(b_1 \cdot (\text{Altitude} - \text{PMF\_Altitude}) + b_2 \cdot (\text{Área\_Bacia} - \text{PMF\_Área\_Bacia}))}}{1 + e^{(b_1 \cdot (\text{Altitude} - \text{PMF\_Altitude}) + b_2 \cdot (\text{Área\_Bacia} - \text{PMF\_Área\_Bacia}))}}$$

Onde:

*P* é a probabilidade de ocorrência da espécie (0 - 1);  
*b*<sub>1</sub> é o coeficiente relativo à altitude, indicando a taxa relativa de mudança de estado ausente/presente;

*b*<sub>2</sub> é o coeficiente relativo à área de bacia, indicando a taxa relativa de mudança de estado ausente/presente;  
*PMF\_Altitude* é o ponto de mudança de fase de altitude (m), balizando a altitude máxima em que a probabilidade de ocorrência atinge valores menores 0,5 (ou 50%), considerando este parâmetro isoladamente;  
*PMF\_Área\_Bacia* é o ponto de mudança de fase de área de bacia (km<sup>2</sup>), balizando a área de bacia mínima esperada em que a probabilidade de ocorrência atinge 0,5 (ou 50%), considerando este parâmetro isoladamente.

O ajuste do modelo probabilístico de ocorrência foi efetuado de forma independente para cada uma das quatro espécies de peixes analisadas. A partir de uma matriz de presença/ausência informada através do conjunto de entrevistas, estimaram-se os parâmetros do modelo (*b*<sub>1</sub>, *b*<sub>2</sub>, *PMF\_Altitude*, *PMF\_Área\_Bacia*) através da ferramenta SOLVER do software Microsoft Excel, empregando-se valores logaritmizados (ln) de altitude (m) e área de bacia (km<sup>2</sup>) para cada ponto amostral como descritores ambientais, procedendo-se o ajuste através do algoritmo de Newton-Rapson e empregando-se como função de *Loss* a minimização dos resíduos ao quadrado.

A aderência do modelo ajustado para cada espécie foi determinada através da percentagem de acertos entre a presença/ausência prevista pelo modelo ajustado para cada espécie e a presença/ausência informada pelo programa de entrevistas. Para tal, considera-se a espécie como presente em determinada localidade se a probabilidade estimada de presença for superior a 0,5; e ausente se a probabilidade estimada for inferior a 0,5.

Uma vez estimados os parâmetros descritores da distribuição para cada uma das espécies analisadas (*b*<sub>1</sub>, *b*<sub>2</sub>, *PMF\_Altitude*, *PMF\_Área\_Bacia*), mapas de distribuição presumida foram criados através do software IDRISI Andes. Para tal empregou-se a função *Image Calculator*, aplicando-se *layers* de altitude e área de bacia como descritores (variáveis independentes) segundo o modelo ajustado em cada espécie de peixe migrador da bacia do rio Camaquã.

## RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta a listagem de valores estimados para os parâmetros da função logística (*b*<sub>1</sub>, *b*<sub>2</sub>, *PMF\_Altitude*, *PMF\_Área\_Bacia*), ajustados de forma independente para cada uma das quatro espécies de peixes migradores da bacia do rio Camaquã. A adequabilidade dos modelos probabilísticos ajustados, expressa através da aderência entre os dados de presença informada e prevista, encontra-se na Tabela 2. Para tal, considera-se como presença presumida probabilidades de presença superiores a 0,5 e como ausência presumida, probabilidades inferiores a esta.

As figuras 1 e 2 apresentam a distribuição presumida do grumatã (*Prochilodus lineatus*), do dourado (*Salminus brasiliensis*), da piava (*Leporinus obtusidens*) e do pintado (*Pimelodus pintado*) na bacia do Camaquã. Os pontos em amarelo correspondem aos pontos amostrados; e em vermelho, presença informada

nas entrevistas. A escala de cores sobre a hidrografia representa a probabilidade de ocorrência estimada através de modelo ajustado para cada espécie segundo os parâmetros da Tabela 1.

A figura 3 apresenta, para cada espécie de peixe migrador avaliado, a distribuição de pontos com presença e ausência informada em função de gradientes de altitude e área de bacia. Para fins comparativos plotaram-se igualmente os dados de distribuição

registrados para a bacia do Jacuí (Alves & Fontoura, 2009). De forma geral, identifica-se que as espécies migradoras ocorrem, na bacia Camaquã, em limites altitudinais menores que na bacia Jacuí, com exceção do Grumatã, o qual apresenta limites altitudinais similares. Por outro lado, exceto pelo pintado, os peixes migradores da bacia Camaquã parecem exigir maiores áreas de bacia do que o identificado para a bacia Jacuí.

TABELA 1

Coefficientes do modelo probabilístico de ocorrência para cada uma das quatro espécies de peixes (*Prochilodus lineatus* – grumatã; *Salminus brasiliensis* – dourado; *Leporinus obtusidens* – piava; e *Pimelodus pintado* – pintado) na bacia Camaquã.  $b_0$  é um parâmetro empírico de ajuste;  $b_1$  e  $b_2$  são os coeficientes relativos à altitude e área de bacia; PMF são os pontos de mudança de fase, indicando as altitudes e áreas de bacia que implicam em 50% de probabilidade de presença da espécie

Coeficientes de Regressão	Espécies			
	<i>P. lineatus</i>	<i>S. brasiliensis</i>	<i>L. obtusidens</i>	<i>P. pintado</i>
pmf_alt	4,96	4,91	4,98	4,52
pmf_bc	6,78	7,07	6,79	3,93
$b_0$	0,23	-0,08	0,97	-0,46
$b_1$	-0,95	-1,08	-0,91	-18,59
$b_2$	0,79	1,00	1,35	29,12
PMF_Altitude ( $e^{PMF}$ )	145,5	136,3	145,3	92,21
PMF_Bacia ( $e^{PMF}$ )	882,7	1.180,5	892,2	50,28

TABELA 2

Porcentagem média de acerto (aderência) do modelo de ocorrência presumida para cada uma das quatro espécies de peixes migradores da bacia Camaquã.

	Espécies			
	<i>P. lineatus</i>	<i>S. brasiliensis</i>	<i>L. obtusidens</i>	<i>P. pintado</i>
Aderência de Presença (%)	75	80	89	94
Aderência de Ausência (%)	86	92	85	91
Aderência Total (%)	83	90	86	93

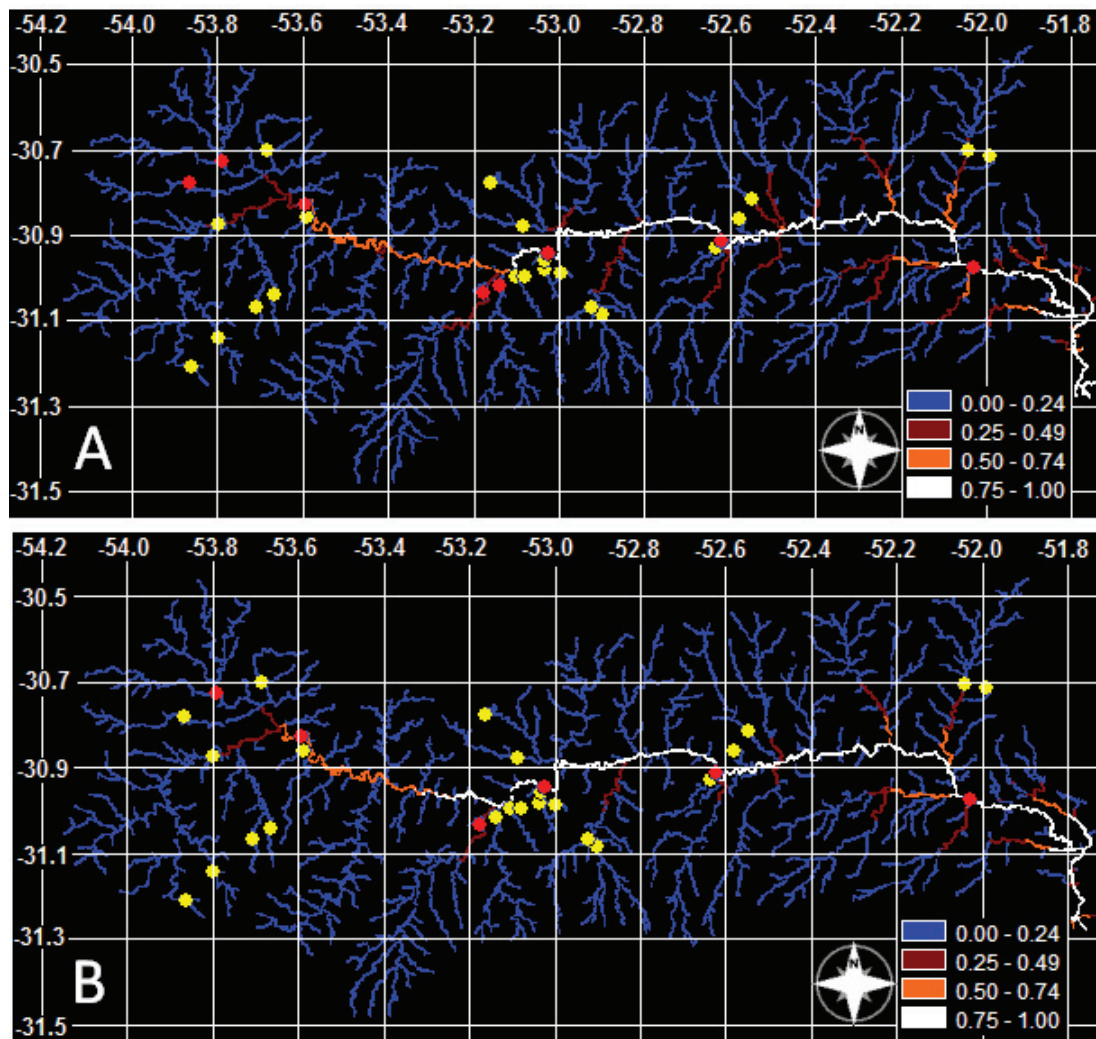


FIGURA 1. Distribuição presumida do grumatã, *Prochilodus lineatus* (A) e do dourado, *Salminus brasiliensis* (B) na bacia do Camaquã. Os pontos em amarelo correspondem aos pontos amostrados; e em vermelho, presença informada nas entrevistas. A escala de cores sobre a hidrografia representa a probabilidade de ocorrência estimada através de modelo logit modificado.

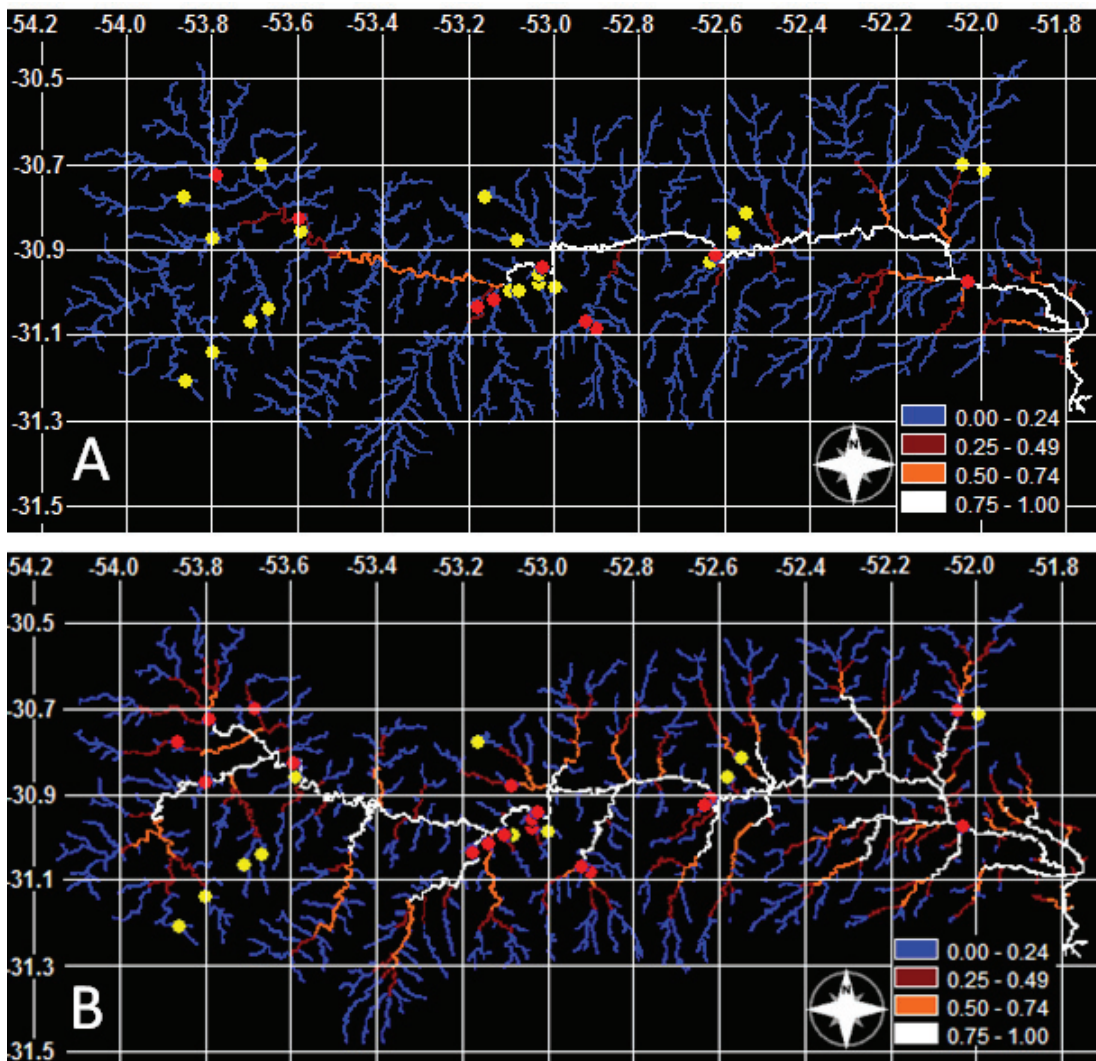


FIGURA 2. Distribuição presumida da piava, *Leporinus obtusidens* (A); do pintado, *Pimelodus pintado* (B) na bacia do Camaquã. Os pontos em amarelo correspondem aos pontos amostrados; e em vermelho, presença informada nas entrevistas. A escala de cores sobre a hidrografia representa a probabilidade de ocorrência estimada através de modelo logit modificado.

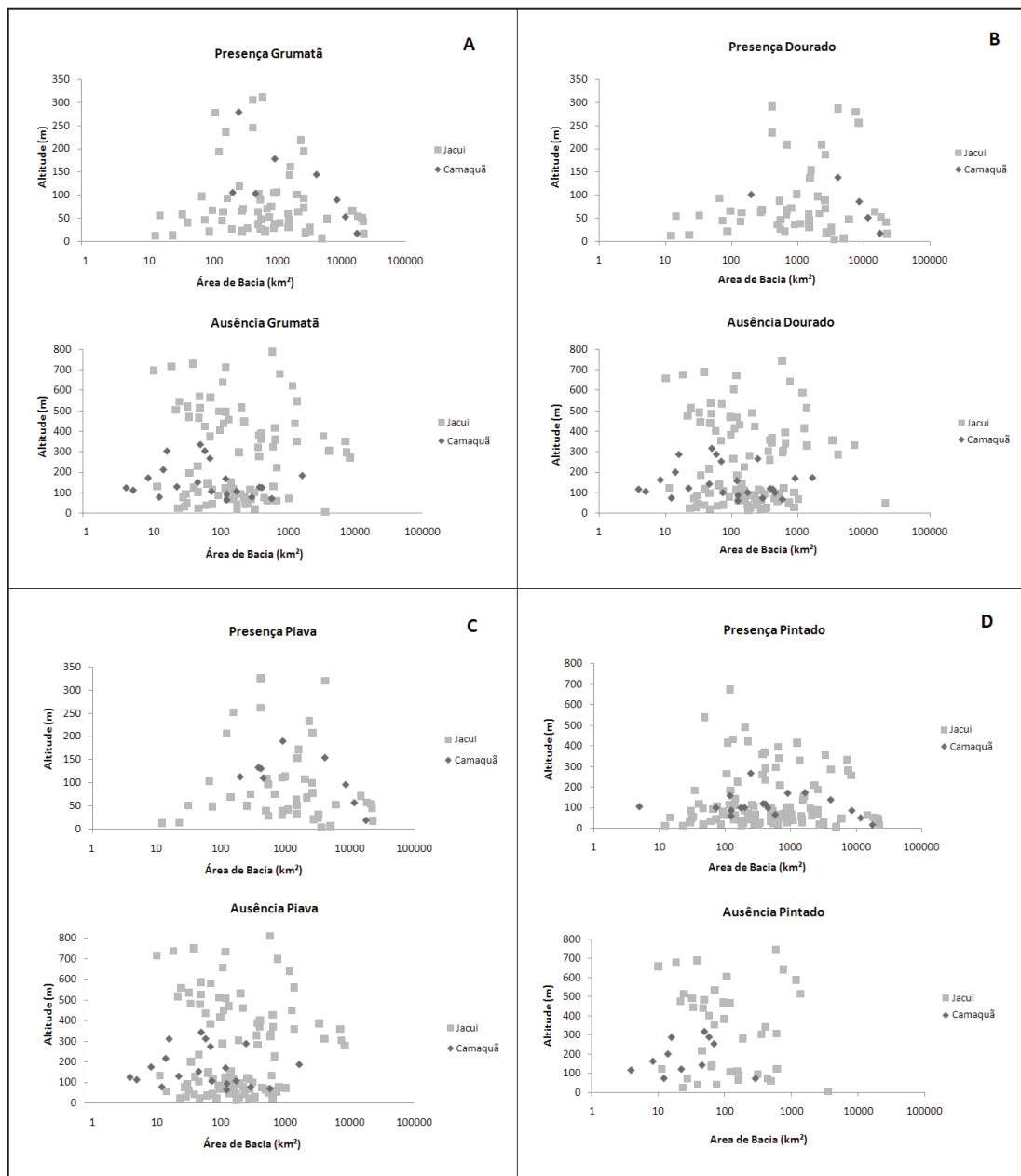


FIGURA 3. Distribuição de pontos com presença e ausência do grumatã, *Prochilodus lineatus* (A), do dourado, *Salminus brasiliensis* (B), da piava, *Leporinus obtusidens* (C) e do pintado, *Pimelodus pintado* (D) na bacia do Camaquã (pontos escuros) e na bacia do Jacuí (pontos claros).



## DISCUSSÃO

Nos últimos 20 anos, o uso da estatística multivariada na modelagem da distribuição de espécies tem aumentado consideravelmente através da aplicação de uma grande variedade de técnicas. Em particular, os modelos de regressão têm sido utilizados amplamente para predir a distribuição, abundância e preferência de hábitat de algumas espécies (Brito *et al.*, 1999). Entretanto, quando se unem estas informações com recursos do Sistema de Informação Geográfica (SIG), torna-se possível a incorporação de descritores obtidos remotamente através de imagens de satélite. Por outro lado, o uso de gradientes indiretos, constituídos por variáveis que não apresentam ação fisiológica direta sobre os animais, tais como elevação, declividade e posição topográfica, são mais facilmente obtidos do que parâmetros ambientais de gradiente direto, como temperatura ou pH, que freqüentemente introduzem incertezas espaciais nos modelos por carência de dados e erros de interpolação (Guisan *et al.*, 1999).

Embora no presente trabalho se tenha optado por modelar a distribuição das espécies de interesse com base em apenas dois parâmetros de gradiente indireto, altitude e área de bacia, observa-se que a estimativa de presença, quando confrontada com a distribuição informada, apresentou aderência total superior a 83%, chegando a 94% para o pintado. Este resultado sugere, de modo geral, que mesmo um conjunto relativamente pequeno de variáveis geomorfológicas é capaz de apresentar um caráter preditivo importante, talvez em função do elevado conjunto de parâmetros diretos colineares, como temperatura da água, vazão, velocidade de corrente ou turbidez.

Cabe destacar, igualmente, a obtenção de resultados relativamente bons de aderência mesmo partindo-se de um conjunto aparentemente pequeno de pontos amostrais, 28 ao total, se comparados com os 155 pontos empregados por Alves & Fontoura (2009) para a bacia Jacuí. Identifica-se, no entanto, que a bacia do rio Jacuí é da ordem de cinco vezes maior que a bacia do rio Camaquã, de forma que a densidade espacial de pontos amostrais é similar em ambos os trabalhos. Por outro lado, trabalhos recentes têm apontado que, dependendo da amplitude da área amostrada e do desenho amostral empregado, resultados aceitáveis podem ser obtidos com amostras da ordem de apenas 30 pontos amostrais (Elith *et al.*, 2006; Kremen *et al.*, 2008; Wisz *et al.*, 2008b).

Salientamos, ainda, que a margem de erro dos modelos preditivos pode ter sofrido influência de

fatores não contemplados no modelo de análise, como, por exemplo, a presença de barreiras de jusante naturais ou artificiais. A justificativa para a não utilização da presença de barreiras artificiais deve-se ao objetivo de identificar-se a distribuição histórica das espécies na área de estudo. Assim, o modelo proposto é de presença presumida em função de parâmetros geomorfológicos, abstraindo-se a interferência posterior dos barramentos construídos na bacia Camaquã. Além disso, a incorporação de barreiras naturais mostrou-se inviável no presente modelo. Embora eventuais barreiras naturais pudessem ter sido identificadas *in loco*, a precisão do modelo numérico do terreno, em *pixel* de 90 por 90 metros e informação de altitude por sensor radar, mostrou-se inadequada para a identificação de pequenos acidentes potencialmente significativos, razão pela qual optamos por não introduzir esta variável no modelo de análise.

Através das figuras 1 e 2, onde registra-se a probabilidade de ocorrência das espécies de peixes migradores na bacia Camaquã, verifica-se uma relativa sobreposição espacial no padrão de ocupação de habitat. De modo geral, as espécies responderam de forma similar às variáveis altitude e área de bacia, excetuado o pintado, com distribuição alcançando áreas mais à montante. Tal padrão já havia sido identificado para o mesmo conjunto de espécies na bacia do rio Jacuí, em estudo desenvolvido por Alves & Fontoura (2009).

A análise comparada dos padrões de distribuição de peixes migradores em função de altitude e área de bacia (figura 3) permite a identificação de alguns padrões interessantes, provavelmente relacionados às características diferenciadas de cada região. De forma geral, excetuado um único registro para o pintado, verifica-se que as espécies, independentemente da altitude, são capazes de colonizar segmentos de rio com menores áreas de drenagem na bacia Jacuí. Tal fato pode ser devido a diferenças de precipitação. Enquanto que na bacia Camaquã registra-se precipitações médias anuais de cerca de 1200 mm, na bacia Jacuí estas precipitações podem atingir até 1600 mm, conforme a região (Moreno, 1961) permitindo o maior volume médio de água em segmentos com áreas de bacia equivalentes.

Por outro lado, excetuado um único registro para o grumatã a 300 m de altitude, identifica-se que os peixes migradores da bacia Camaquã ocorreram em altitudes menores que na bacia Jacuí. Neste caso, tal padrão distributivo deve-se provavelmente a uma

conjunção de fatores, como a menor altitude média da bacia associada à menor precipitação, de forma que na bacia Camaquã os segmentos de maior volume de água não atingem limites altitudinais equivalentes aos padrões observados na bacia Jacuí.

Assim, a área de bacia de montante se mostrou extremamente significativa para explicar o padrão de distribuição das quatro espécies, o que demonstra a preferências das espécies por segmentos de jusante. Desta forma, na bacia do rio Camaquã a área de bacia foi identificada como o maior condicionante para a distribuição das espécies migradoras analisadas. Entretanto, comparações diretas entre as probabilidades de ocorrência das espécies não devem ser realizadas levando-se em conta cada coeficiente independentemente. A natureza dos modelos de regressão múltipla, em função da multicolinearidade de variáveis, pode resultar em dificuldade na identificação correta dos efeitos individuais de cada coeficiente (Hise *et al.*, 1983).

Por fim, o Sistema de Informação Geográfica (SIG) caracteriza-se como uma ferramenta cada vez mais utilizada nos processos de planificação econômica, territorial e, sobretudo, para a gestão ambiental. Assim, o conjunto de produtos deste trabalho teve por finalidade contribuir para o processo de gestão ambiental integrada da bacia hidrográfica do rio Camaquã. Os modelos apresentados não visam substituir a verificação *in loco* da ocorrência e distribuição de peixes migradores na bacia, sobretudo em processos de licenciamento de novos barramentos. Pretendeu-se, acima de tudo, fornecer ao órgão licenciador uma ferramenta independente para avaliar os EIA-RIMA apresentados em processos de licenciamento. Além disso, um modelo de distribuição presumida pode também ser de grande utilidade no planejamento ambiental da bacia como um todo, de forma a subsidiar a tomada de decisão com relação à preservação de tributários e segmentos em projetos de gestão integrada de bacia.

## Referências

- AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; FERNANDES, D.R.; SUZUKI, H.I. (2002). Efficiency of fish ladders for neotropical ichthyofauna. *River Research and Applications* 18, 299-306.
- AGOSTINHO, A.A.; GOMES, L.C.; VERÍSSIMO, S.; OKADA, E.K. (2004). Flood regime, dam regulation and fish in the upper Paraná River: effects on assemblage attributes, reproduction and recruitment. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 14, 11-19.
- ALVES, T.P.; FONTOURA, N.F. (2009). Statistical distribution models for migratory fish in Jacuí basin, South Brazil. *Neotropical Ichthyology*, 7(4):647-658.
- ANDRADE, P.M.; BRAGA, F.M.S. (2005). Reproductive seasonality of fishes from lotic stretch of the Grande River, High Paraná River Basin, Brazil. *Brazilian Journal of Biology* 65, 387-394.
- BERTOLETTI, J.J. (1985). Aspectos sistemáticos e biológicos da ictiofauna do rio Uruguai. *Veritas* 30, 93-129.
- BERTOLETTI, J.J. (1987). Contribuição ao conhecimento de passagens de peixes em barragens no Rio Grande do Sul. *Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS* 42, 131-138.
- BRITO, J.C.; CRESPO, E.G.; PAULO, O.S. (1999). Modeling wildlife distributions: Logistic Multiple Regression vs. Overlap Analysis. *Ecography* 22, 251-260.
- CAROLSFELD, J.; HARVEY, B.; ROSS, C.; BAER, A. (2003). *Migratory fishes of South America: biology, fisheries and conservation status*. Ottawa: International Development Centre/The World Bank.
- CENTRAIS ELÉTRICAS DO SUL DO BRASIL S/A (1985). *Aqüicultura*. Florianópolis: Eletrosul.
- ELITH, J., GRAHAM, C. H., ANDERSON, R. P. *et al.* (2006) Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecograph*, 29, 129–151.
- GARUTTI, V. (1988). Distribuição longitudinal da ictiofauna em um córrego da região noroeste do estado de São Paulo, bacia do rio Paraná. *Revista Brasileira de Biologia* 48, 747-759.
- GODOY, M.P. (1987). A escada de peixes de Cachoeira de Ema, rio Mogi Guassú, estado de São Paulo, Brasil. *Comunicações do Museu de Ciências e Tecnologia da PUCRS* 43, 139-151.
- GOMES, L.C.; FERNANDES, R.; LUIZ, E.A. (2004). Development of reservoir fisheries management in Brazil based on imported paradigms. *Maringá* 26, 309-315.
- GONÇALVES, L. (2010). Modelo estatístico de distribuição presumida de peixes migradores da bacia do rio Uruguai (RS/SC), sul do Brasil. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Zoologia, PUCRS. 47p.
- GUISAN, A.; WEISS, S.B.; WEISS, A.D. (1999). GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution. *Plant Ecology* 143, 107-122.
- HALL, C.A.S. (1972). Migration and Metabolism in temperate stream ecosystem. *Ecology* 53, 585-604.

- HALL, C.A.S.; STANFORD, J.A.; HAUER, F.R. (1992). The distribution and abundance of organisms as a consequence of energy balances along multiple environmental gradients. *Oikos* 65, 377-390.
- HISE, R.T.; GABLE, M.; KELLY, J.P.; McDONALD, J. B. (1983). Factors affecting the Performance of Individual Chain Store Units: An Empirical Analysis. *Journal of Retailing* 59, 22-39.
- KELMAN, J.; PEREIRA, M.V.F.; NETO, T.A.A.; SALES, P.R.H. (2002). Hidreletricidade. In *Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação* (Rebouças, A.C., Braga, B. & Tundisi, J.G., eds.), pp. 371-418. São Paulo: Escrituras.
- KREMEN, C., CAMERON, A., MOILANEN, A. *et al.* (2008) Aligning conservation priorities across taxa in Madagascar with high-resolution planning tools. *Science* 320, 222-226.
- LOWE-McCONNELL, R. H. (1999). *Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- MATTHEWS, W.J.; HOUGH, D.J.; ROBISON, H.W. (1992). Similarities in fish distribution and water quality patterns in streams of Arkansas: congruence of multivariate analyses. *Copéia* 1992, 296-305.
- MATTHEWS, W.J.; STYRON-JÚNIOR, J. T. (1981). Tolerance of headwater vs. Mainstream fishes for abrupt physicochemical changes. *American Midland Naturalist* 105, 149-158.
- MORENO, J. A. (1961). *Clima do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria da Agricultura, 41p.
- PETREIRE-JÚNIOR, M.; AGOSTINHO, A.A., OKADA, E.K.; JULIO-JÚNIOR, H.F. (2002). Review of the Fisheries in the Brazilian Portion of the Paraná/Pantanal Basin. In *Management and Ecology of Lake and Reservoir Fisheries* (Cowx, I. G., ed.), pp. 123-143. London: Fishing News Book.
- PITCHER, T.J.; HART, P.J.B. (1982). *Fisheries Ecology*. Connecticut: The Avi Publishing Company Inc.
- POUILLY, M.; BARRERA, S.; ROSALES, C. (2006). Changes of taxonomic and trophic structure of fish assemblages along an environmental gradient in the Upper Beni watershed (Bolivia). *Journal of Fish Biology* 68, 137-156.
- REYES-GAVILÁN, F.G.; GARRIDO, R.; NICIEZA, A.G.; TOLEDO, M.M.; BRANÃ, F. (1996). Fish community variation along physical gradients in short streams of northern Spain and the disruptive effect of dams. *Hydrobiologia* 321, 155-163.
- SCHLOSSER, I.J. (1987). A Conceptual framework for fish communities in small warmwater streams. In *Community and evolutionary ecology of North American stream fishes* (Matthews, W. J & Heins, D. C., eds.), pp. 17-24. University of Oklahoma Press.
- SILVEIRA, G.L.; CRUZ, J.C. (2005). *Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria.
- SÚAREZ, Y.R.; PETREIRE, M. (2007). Environmental factors predicting fish community structure in two neotropical rivers in Brazil. *Neotropical Ichthyology* 5, 61-68.
- VÁZQUEZ, J.B.; LOPEZ-ROBLES, A.; SOSA, D.F.; SAEZ, M.P. (1979). Águas. In *Geografía Física de la Provincia de Córdoba*. Buenos Aires, Argentina (Vázquez, J. B., Miatello, R. A. & Roque, M. E., eds.), pp. 139-211
- VAZZOLER, A.E.A.M. (1996). *Biologia da reprodução de peixes teleosteos: teoria e prática*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual de Maringá.
- WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. (2004). *Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da federação*. Porto Alegre, RS: Centro de Ecologia da UFRGS.
- WISZ, M. S., HIJMANS, R. J., LI, J., PETERSON, A. T., GRAHAM, C. H., & GUIBAN, A. (2008b) Effect of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions* 14, 763-773.

**Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Laboratório de Ecotecnologia e Limnologia; email: luciarrodrigues@gmail.com

**José Ricardo Barradas** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biociências, Laboratório de Ecologia Aquática; email: jrbbarradas@gmail.com

**Thaíz Paz Alves** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biociências, Laboratório de Ecologia Aquática; email: alves.thais@uol.com.br

**Nelson Ferreira Fontoura** Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Biociências, Laboratório de Ecologia Aquática; email: nfontoura@puocs.br