



# O uso da terra e seu impacto na distribuição do *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816)

## *Land use and its impact on the distribution of Colossoma macropomum (Cuvier, 1816)*

Bruno de Lima Torquato de Andrade\*, Edivando Vitor do Couto†,

### RESUMO

O estudo objetivou avaliar a distribuição geográfica do *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) em diferentes cenários obtidos a partir de uma abordagem de Modelagem de Nicho Ecológico (MNE). Dados de ocorrência do peixe nativo da bacia amazônica foram obtidos a partir da base de dados AmazonFish. Para a construção dos modelos foram utilizadas variáveis bioclimáticas e hidrológicas, 13 modelos foram ajustados e treinados, com posterior aplicação técnica de projeção combinada. Modelos baseados no Caminho de Concentração Representativo (RCP) moderado (4.5) e pessimista (8.5) foram empregados nos cenários futuros de 2050. Dados de cobertura florestal do presente e de projeções futuras foram adotados para avaliar a matriz de adequabilidade ambiental gerada na MNE. Uma análise de *hotspot* foi feita sobre a matriz, evidenciando possíveis locais da bacia a serem conservados. Mudanças drásticas na distribuição do Tambaqui foram observadas conforme nível de degradação dos cenários, identificando um padrão de contração geográfica. Por fim, políticas ambientais contra desmatamento devem ser incentivadas.

**Palavras-chave:** Amazônia, Dispersão, Desmatamento, Frugívoro, Rios.

### ABSTRACT

The study aimed to evaluate the geographic distribution of *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) in different scenarios obtained from an Ecological Niche Modeling (ENM) approach. Occurrence data for the Amazon basin native fish were obtained from the AmazonFish database. For the construction of the models, bioclimatic and hydrological variables were used, 13 models were adjusted and trained, with subsequent application of the ensemble forecast technique. Models based on the moderate (4.5) and pessimistic (8.5) Representative Concentration Pathway (RCP) were used in the 2050 future scenarios. Forest cover data from the present and future projections were adopted to assess the environmental suitability matrix generated in the ENM. A hotspot analysis was performed on the matrix, showing possible locations in the basin to be conserved. Drastic changes in the distribution of Tambaqui were observed according to the level of degradation of the scenarios, identifying a pattern of geographic contraction. Finally, environmental policies against deforestation must be encouraged.

**Keywords:** Amazon, Deforestation, Dispersal, Frugivorous, Rivers.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas ocasionadas pelo homem são um problema global que possui um tremendo efeito em ecossistemas naturais, já que a biodiversidade e seus serviços associados são fundamentalmente dependentes da condição climática (KUMAR *et al.*, 2021).

\* Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, Paraná, Brasil; [brunoandrade@alunos.utfpr.edu.br](mailto:brunoandrade@alunos.utfpr.edu.br)

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, Paraná, Brasil; [edivandocouto@gmail.com](mailto:edivandocouto@gmail.com)



Não bastando os efeitos climáticos, as alterações no uso da terra se veem impulsionadas pela agricultura – através do desmatamento ou novas expansões de monoculturas –, invadindo os ecossistemas naturais remanescentes de regiões tropicais, que refugiam uma biodiversidade excepcional, e, infelizmente, onde o desflorestamento é bastante ocorrente (SEMPER-PASCUAL *et al.*, 2019), elevando as já maiores taxas de extinções da fauna e flora tropical (KEHOE *et al.*, 2017). Esse impacto sobre a biodiversidade é impulsionado pelo aumento das taxas de desmatamento na Amazonia Legal em território nacional de 2012 – ano de criação do Novo Código Florestal –, com picos acentuados em 2019 e 2020, conforme dados do projeto PRODES (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2021).

Com o avanço do desflorestamento e a crescente intensificação do aquecimento global, mudanças nos padrões geográficos de peixes frugívoros, como o *Colossoma macropomum*, podem ocorrer. Para quantificar as diferentes respostas da distribuição da espécie diante de tais alterações ambientais, modelos matemáticos podem ser aplicados, como a modelagem de nicho ecológico e a modelagem de distribuição de espécies (ANDERSON *et al.*, 2011).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição geográfica do peixe *Colossoma macropomum* em diferentes cenários obtidos a partir da modelagem de nicho ecológico (MNE) após a consideração de variáveis climático-ambientais relacionadas às mudanças climáticas e de uso da terra, identificando áreas prioritárias para a conservação da espécie na Bacia Amazônica de acordo com seus refúgios habitacionais.

## 2 MÉTODO (OU PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS DA PESQUISA)

O estudo se deu a partir das ocorrências do peixe frugívoro *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816) na Bacia Hidrográfica Amazônica, obtidas a partir da base de dados AmazonFish (JÉZÉQUEL *et al.*, 2020). Esses dados foram mapeados em uma malha geográfica de células com 10 km de resolução e EPSG 6933.

A MNE foi adotada, pois permite que as ocorrências de espécies sejam analisadas frente às variáveis ambientais, fornecendo uma matriz de adequabilidade para mapeamento da distribuição potencial do *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816) em cenários do presente e de 2050, através de correlações com variáveis bioclimáticas, hidrológicas e de cobertura florestal.

No total, 19 distintas variáveis bioclimáticas relacionadas a medidas de temperatura e precipitação (obtidas pelo WorldClim; ver <https://worldclim.org>) foram consideradas para a modelagem do ano presente. Ainda, essas variáveis foram avaliadas para os cenários de 2050 a partir de projeções realizadas pelo Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS; ver <http://ccaafs-climate.org>).

Já como variáveis hidrológicas, uma combinação de medidas de altitude dos corpos aquáticos e do fluxo de água das células foram empregadas, obtidas por meio da base de dados HydroSheds (ver <https://www.hydrosheds.org/>) e apresentadas em 8 diferentes categorias. Devido à falta de projeção para estas variáveis, as mesmas foram consideradas como temporariamente estacionárias na modelagem para os tempos futuros de 2050. Foi utilizada análise do fator de inflação de variação (VIF) para avaliar a colinearidade das variáveis bioclimáticas e hidrológicas, a fim de se definir as variáveis a serem utilizadas para treino e teste na modelagem de nicho ecológico.

As projeções futuras necessitam de diferentes Modelos Gerais de Circulação Oceânico-Atmosférica (AOGCM). Aqui foram aplicados quatro modelos em diferentes cenários de emissão de gases efeito estufa (4.5 – cenário moderado; 8.5 – cenário pessimista) baseados no Caminho de Concentração Representativo (RCP): Community Climate System Model (CCSM), Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC), e Meteorological Research Institute (MRI).



Os dados de cobertura florestal para a modelagem no período presente foram adquiridos pelo Copernicus Global Land Service (BUCHHORN *et al.*, 2019), com uso da terra de resolução espacial 100 m. Houve reclassificação das diferentes categorias florestais para uma única, chamada de Vegetação Florestal, a qual foi reescalada em grid 10x10 km para cálculo percentual médio de vegetação nas células da malha geográfica, de forma semelhante às ocorrências do Tambaqui.

Enfim, uma única categoria de Vegetação Florestal também foi abordada para dados futuros, em 2050, a partir do modelo SimAmazonia (SOARES-FILHO *et al.*, 2006), o qual considera dois tipos de cenários: *Business-as-usual*, onde assume que as tendências de desmatamento continuarão, com rodovias pavimentadas sendo implantadas e baixa aplicação de áreas protegidas em reservas particulares; e *Governance*, o qual admite uma legislação ambiental mais refinada, com reforço na fiscalização de reservas florestais mandatórias em propriedades privadas, zoneamento agroecológico do uso da terra e uma expansão de áreas protegidas na Amazonia.

A fim de evitar incertezas metodológicas pertinentes à cada MNE, a técnica de projeção combinada (ARAUJO; NEW, 2007) foi aplicada, assim conciliando os diferentes cenários dos algoritmos empregados no estudo, os ponderando e gerando como saída um ajuste geral, minimizando os erros e permitindo que os modelos com melhores performances representem estatisticamente o nicho ecológico do peixe (TERRIBILE; DINIZ-FILHO; MARCO, 2010). No total, 13 modelos de algoritmos foram aplicados: *Bioclimatic Analysis* (Bioclim), *Bioclimatic Analysis* (bioclim.dismo), *Euclidean Distance* (domain.dismo), *Flexible Discriminant Analysis* (fda), *Multivariate Adaptive Regression Splines* (mars), *Boosted Regression Trees* (brt), *Classification and Regression Trees* (cart), *Maximum Entropy* (maxent), *Multi Layer Perceptron* (mlp), *Radial Basis Function* (rbf), *Random Forests* (rf), *Recursive partitioning for Classification* (rpart) e *Support Vector Machines* (svm).

O conjunto de projeções criadas pelos modelos foram avaliadas por representação da Área Sob a Curva (AUC). Foram considerados apenas modelos com valores de AUC iguais ou maiores que 0,8, pois indicam bons modelos (SWETS, 1988). O percentual médio de vegetação florestal nas células da grid foi multiplicado pela adequabilidade do modelo consenso, gerando a matriz de adequabilidade ambiental final.

Visando avaliar a matriz de adequabilidade ambiental, foi aplicada uma análise de *hotspot* a partir do índice local de Moran I, o qual permite descrever o grau de semelhança ou diferença de cada evento com base em dados próximos, detectando a partir de autocorrelação espacial os padrões estatisticamente mais significativos (ANSELIN, 1995). Assim, agrupamentos semelhantes são classificados em quatro categorias: alto-alto (AA) e baixo-baixo (BB), ambos de associação positiva, onde os vizinhos possuem valores semelhantes, neste caso, alta adequabilidade ambiental em AA e baixa em BB; alto-baixo (AB) e baixo-alto (BA), classificados como pontos de associação espacial negativa e indicando transições entre diferentes padrões espaciais.

Por fim, as áreas prioritárias para conservação foram observadas a partir dos resultados do índice local de Moran I obtidos pelo pacote complementar Hotspot Analysis do QGIS (OXOLI *et al.*, 2018) e aplicados sobre a adequabilidade ambiental alcançada pelo modelo consenso com cobertura florestal.

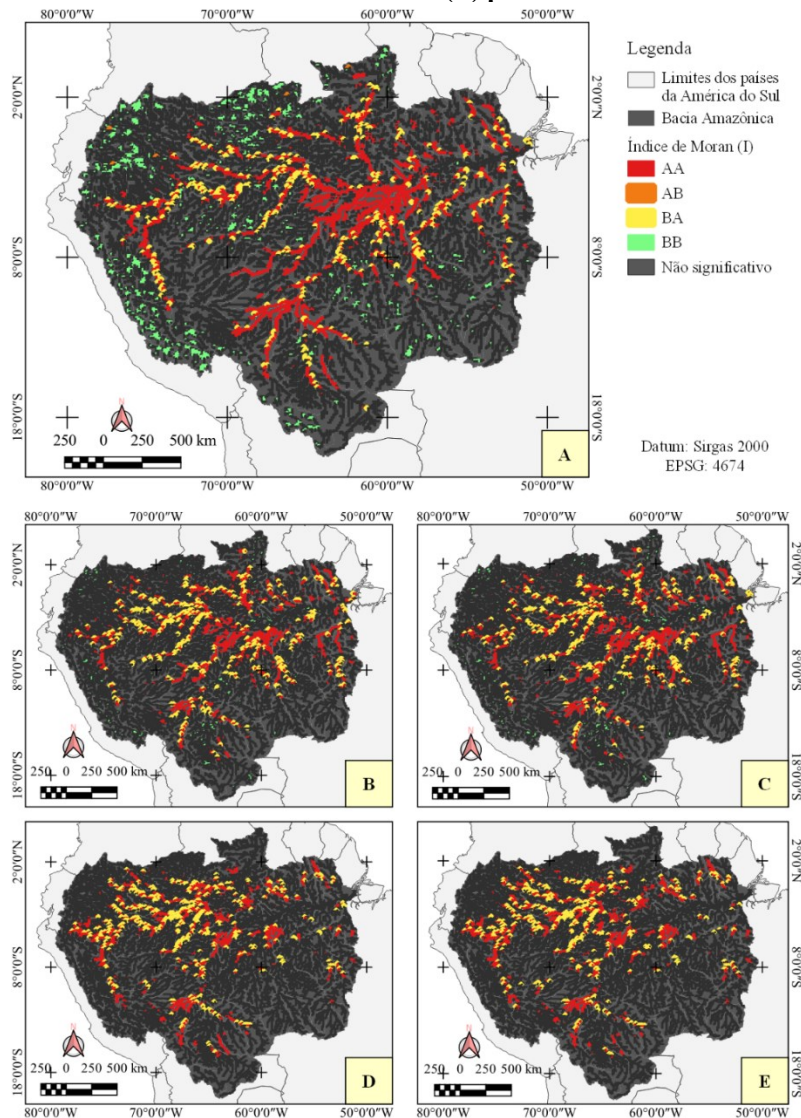
### 3 RESULTADOS

A execução da modelagem de nicho ecológico para a espécie *Colossoma macropomum* (Cuvier 1816) ocorreu considerando as variáveis bioclimáticas, hidrológicas e os cenários de emissão de gases de efeito estufa (RCP), onde o fator de variação de inflação foi aplicado com sucesso para excluir variáveis preditoras com problemas de colinearidade. Em sequência, os modelos foram ajustados e treinados, onde a análise da Área Sob a Curva permitiu seleção desses sete métodos: brt, fda, mars, maxent, mlp, rbf e rf.

Agora, aplicando a categoria de vegetação florestal como variável na adequabilidade ambiental do Tambaqui através dos dados de uso da terra e avaliando os locais adequados para o peixe no presente, temos as seguintes sub-bacias com alta relevância: Negro, Madeira, Javari, Amazonas, Ucayali, Juruá, Tapajós, Purus, Japurá e Xingu. Essas bacias possuem rios de maior porte, onde o Tambaqui se demonstrou mais presente, porém certos corpos hídricos se demonstram ameaçados pelo avanço de agropecuária, como é o caso da região sul do Madeira e início do Amazonas na porção leste.

Agora, a análise de *hotspot* permitiu demonstrar os eventos pelo índice local de Moran I, evidenciando espaços de maior relação alto-alto (Figura 1).

**Figura 1 – Análise de *hotspot* pelo índice local de Moran I para o Tambaqui no: (A) presente, (B) cenário *Governance* em 2050 com emissões moderadas 4.5 e (C) pessimistas 8.5, (D) cenário *Business-as-usual* em 2050 com emissões moderadas 4.5 e (E) pessimistas 8.5 2050**



Fonte: Autoria própria (2021)

Foi evidenciado a mudança no uso da terra favorecendo perda florestal até os anos de 2050, com o cenário climático moderado e pessimista de modelo de desflorestamento *Governance* demonstrando adequabilidade





para as sub-bacias do rio Negro, Madeira, Amazonas, Japurá, Xingu e Purus; porém, se intensifica e fragmenta mais ainda ao considerar acentuada perda florestal no modelo de uso da terra *Business-as-usual*, reduzindo a adequabilidade do Tambaqui para a porção mais ao oeste do Amazonas, o início e o sul do Madeira, além do Juruá e Purus, demonstrando que em piores cenários pode-se esperar uma alta diminuição de habitat, com aglomerações fragmentadas na região sul, central e noroeste da bacia Amazônica.

É interessante ressaltar a perda de área ambientalmente adequada conforme o declínio das condições nos cenários, sendo o pior deles o de emissões 8.5 (pessimista) e em um maior desflorestamento (*Business-as-usual*), o que isola as manchas de habitat do Tambaqui, removendo as conexões e fragmentando a espécie dentro da Bacia Amazônica. Dessa forma, os maiores fragmentos de habitat aparentam ocorrer na região central e oeste da bacia, perdendo grandes áreas no espaço leste e sudeste, com a parte sul (sub-bacia do rio Madeira) se isolando totalmente das áreas adequadas no centro da bacia em cenários piores, o que corrobora com o avanço urbano e agropecuário nessas regiões (SANTOS *et al.*, 2021). Ainda, ilustrando a perda de aglomerações favoráveis a partir do índice local de Moran I em categoria alto-alto é visível a contração de habitat favorável conforme há o passar dos anos e em cenários de maior desmatamento.

Com o fenômeno de contração da distribuição do Tambaqui causado a partir de perda de habitat pelas mudanças climáticas e desflorestamento, também há de se preocupar com outros efeitos não contabilizados, já que as comunidades de peixes são impactadas por múltiplas frentes, como presença de espécies invasoras ou até mudanças na diversidade funcional dos peixes ocasionada por aumento de temperatura (STEFANI *et al.*, 2020).

Por último, em vista da perda de adequabilidade e maior fragmentação no habitat com o passar dos anos, o Tambaqui e outros peixes frugívoros da bacia podem se beneficiar de estratégias a longo-prazo para a conservação da biodiversidade de água doce, incluindo ações preventivas e políticas conservacionistas que considerem a biogeografia das espécies.

#### 4 CONCLUSÃO

A espécie *Colossoma macropomum* demonstrou mudanças drásticas de contração em sua distribuição para os cenários de emissões moderados e pessimistas de 2050, tanto no modelo de desflorestamento *Governance* quanto no *Business-as-usual*, diminuindo o alcance potencial de sua distribuição futura na Bacia Amazônica quando comparado ao presente.

O estudo evidenciou através de modelagem de nicho ecológico quais áreas podem ser conectadas a estratégias de conservação do habitat de ecossistemas de água doce para preservar a população do Tambaqui, e consequentemente, a floresta ripária que interage com peixes frugívoros. Enfim, políticas ambientais contra desmatamento devem ser incentivadas.

#### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi desenvolvido com o apoio da Fundação Araucária FA – Paraná/Brasil.

#### REFERÊNCIAS

ANDERSON, R. P.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R. G.; ANDERSON, R. P.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; NAKAMURA, M.; ARAÚJO, M. B. **Ecological Niches and Geographic Distributions**. [s.l.]: Princeton University Press, 2011.



- ANSELIN, L. Local Indicators of Spatial Association – LISA. **Geographical analysis**, v. 27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ARAUJO, M.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42-47, 2007.
- BUCHHORN, M.; SMETS, B.; BERTELS, L.; DE ROO, B.; LESIV, M.; TSENDBAZAR, N. E.; HEROLD, M.; FRITZ, S. **Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: collection 3: epoch 2019: Globe 2020**. 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Desmatamento – INPE. **Desmatamento – Amazônia Legal**. Disponível em: <<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>>. Acesso em: 15 ago. 2021.
- JÉZÉQUEL, C.; TEDESCO, P. A.; BIGORNE, R.; ORTEGA, H.; OBERDORFF, T. A database of freshwater fish species of the Amazon Basin. **Scientific Data**, v. 7, n. 1, p. 96, 2020.
- KEHOE, L.; ROMERO-MUÑOZ, A.; POLAINA, E.; ESTES, L.; KREFT, H.; KUEMMERLE, T. Biodiversity at risk under future cropland expansion and intensification. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 8, p. 1129-1135, 2017.
- KUMAR, N. K. H.; MURALI, M.; GIRISH, H. V.; CHANDRASHEKAR, S.; AMRUTHESH, K. N. SREENIVASA, M. Y.; JAGANNATH, S. Impact of climate change on biodiversity and shift in major biomes. In: **Global Climate Change**. [s.l.]: Elsevier, 2021. p. 33-44.
- OXOLI, D.; PRESTIFILIPPO, G.; BERTOCCHI, D.; ZURBARÁN, M. Enabling spatial autocorrelation mapping in QGIS: The Hotspot Analysis Plugin. **GEAM. GEOINGEGNERIA AMBIENTALE E MINERARIA**, V. 151, n. 2, p. 45-50, 2018.
- SANTOS, A. M.; SILVA, C. F. A.; JUNIOR, P. M. A.; RUDKE, A. P.; MELO, S. N. Deforestation drivers in the Brazilian Amazon: assessing new spatial predictors. **Journal of Environmental Management**, v. 294, p. 113020, 2021.
- SEMPER-PASCUAL, A.; DECARRE, J.; BAUMANN, M.; BUSO, J. M.; CAMINO, M.; GÓMEZ-VALENCIA, B.; KUEMMERLE, T. Biodiversity loss in deforestation frontiers: Linking occupancy modelling and physiological stress indicators to understand local extinctions. **Biological Conservation**, v. 236, s. n., p. 281-288, 2019.
- SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, p. 520-523, 2006.
- STEFANI, F.; SCHIAVON, A.; TIROZZI, P.; GOMARASCA, S.; MARZIALI, L. Functional response of fish communities in a multistressed freshwater world. **Science of The Total Environment**, v. 740, p. 139902, 2020.
- SWETS, J. A. Measuring the accuracy of diagnostic systems. **Science**, v. 240, n. 4857, p. 1285-1293, 1988.
- TERRIBILE, L. C.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; MARCO, P. DE. How many studies are necessary to compare niche-based models for geographic distributions? Inductive reasoning may fail at the end. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, n. 2, p. 263-269, 2010.