

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

Lucas Rieger de Oliveira

**Áreas de adequabilidade de *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1861) e
Macrobrachium jelskii (Miers, 1877) para o território brasileiro**

Juiz de Fora
2023

Lucas Rieger de Oliveira

**Áreas de adequabilidade de *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1861) e
Macrobrachium jelskii (Miers, 1877) para o território brasileiro**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito à
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Jaqueline Cardoso

Juiz de Fora
2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Oliveira, Lucas Rieger de.

Áreas de adequabilidade de *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1861) e *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) para o território brasileiro / Lucas Rieger de Oliveira. -- 2023.

59 f.

Orientadora: Simone Jaqueline Cardoso

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, 2023.

1. Camarão de água doce. 2. Crustáceos. 3. Espécies Exóticas. 4. Potencial de Invasão. 5. Modelagem de nicho. I. Cardoso, Simone Jaqueline, orient. II. Título.

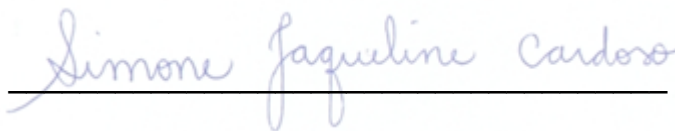
Lucas Rieger de Oliveira

Áreas de adequabilidade de *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1861) e *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) para o território brasileiro.

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Ciências Biológicas da Universidade
Federal de Juiz de Fora como requisito à
obtenção do título de Bacharel em
Ciências Biológicas.

Aprovada em 19 de janeiro de 2023

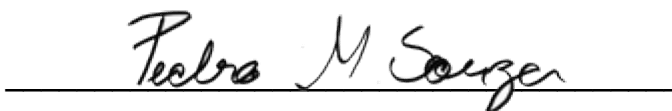
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr^a. Simone Jaqueline Cardoso - Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dr. Luiz Menini Neto
Universidade Federal de Juiz de Fora



Msc. Pedro Mendes de Souza
Universidade Federal de Juiz de Fora

Dedico este trabalho aos meus pais e minhas irmãs que me inspiram e me auxiliaram na realização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Como devo expressar em palavras toda gratidão a todos que me fizeram chegar até aqui é a minha maior dúvida enquanto reflito sobre as pessoas que me cercam. Toda gratidão que sinto não parece caber em um papel, mas, é inegável que registrar a minha gratidão a torna eterna aos olhos de quem as lerá.

Começo esses agradecimentos pautando toda minha energia a Deus, que tem sido combustível a mim em todos os momentos a que me recordo, que sempre a Ele em elevado pensamento retoma a mim a calma que preciso para prosseguir.

Não poderia iniciar esses agradecimentos por outro lugar senão a família. Minha família que como base sempre está comigo, me acalentando e me ensinando os caminhos a percorrer.

Meu agradecimento ao meu pai Francisco que sempre foi figura de persistência, com os braços sempre abertos, prontos a um abraço e a conversa sempre disposta pronta a animar e distrair. Meu pai, que sempre manteve a fé presente em nosso lar, obrigado por estar comigo.

Meu agradecimento a minha mãe Néia que inegavelmente é inconfundível, minha mãe que tem fala firme quando precisa e um coração gigante onde cabem todas as pessoas e animais. Minha mãe que cuida dos outros sempre a frente de si mesma e a quem eu espero um dia conseguir retribuir tamanha entrega. Sou grato a você.

Meu agradecimento a minha irmã Marta que é minha segunda figura materna. Sua alegria e energia movimentam todos. Marta que sempre foi a figura central dessa família. Marta que consegue reunir todos ao seu redor. Marta, minha irmã, você é fonte de segurança e conselho para mim, você que sempre esteve ao meu lado, próxima o bastante para acompanhar todas as minhas caminhadas. Muito obrigado por tudo.

Meu agradecimento a minha irmã Juliana que é emoção e calma. Ju, você completa a trindade de figuras femininas essenciais para minha vida. Sua voz é acalento e sua presença é tranquilidade. Você sempre me ouve, me aconselha, me incentiva e não me deixa duvidar da minha capacidade. Ju, obrigado por tudo.

Meu agradecimento a minha namorada Milla que está ao meu lado há 7 anos. Ela que as palavras não faltam quando preciso de consolo. Seu companheirismo e sua compreensão não me deixam nunca esquecer que não estou sozinho. Seu

apoio e incentivo em todas as decisões cruciais e difíceis da vida me lembram como é bom ter alguém especial para caminhar ao meu lado. Obrigado por estar comigo sempre.

Que nunca me falte forças para ser grato por cada um de vocês em minha vida.

Agradeço a Universidade Federal de Juiz de Fora por me permitir viver uma das maiores realizações da minha vida. O sonho de me formar biólogo se tornou realidade aqui. Agradeço a Coordenação do Curso de Ciências Biológicas que sempre esteve ao lado dos alunos, nos caminhando rumo ao sucesso. Agradeço a todos os colegas de jornada, dentre os companheiros da Biociclos, colegas de turma e professores que durante esta jornada passaram pelo meu caminho, que ao longo da minha formação agregaram valor ao que sou hoje. Sou imensamente grato a todas as oportunidades vividas nesses anos em que a UFJF foi minha casa.

O agradecimento a minha orientadora Simone, que antes de me orientar na graduação já estava presente na minha formação. Simone que é uma pessoa dotada de um sorriso contagiante e reconfortante, que me incentivou a seguir novos caminhos e que acolheu minhas aflições quando eu não sabia a quem recorrer. Simone você foi parte fundamental na construção da minha vida acadêmica e profissional. Obrigado por tanto.

Não poderia deixar de agradecer a Universidade de Évora em Portugal por ter me recebido tão bem e por ter tornado a experiência do intercâmbio melhor do que eu poderia esperar. Agradeço pessoalmente ao professor Dr. Pedro Anastácio e a Dra. Mafalda Gama por toda paciência comigo e com meu trabalho. Pela disposição em guiar minhas dúvidas e abraçar comigo essa experiência me faltam palavras para agradecer a vocês. Sem vocês nada disso seria possível.

Meu agradecimento ao meu amigo professor Msc. Gustavo Britto da Universidade Estadual Paulista (UNESP-Assis), que além de excelente profissional é também uma pessoa comprometida e disposta a doar seus conhecimentos. Gustavo prontamente me auxiliou em todos os momentos que necessitei. Serei eternamente grato.

O agradecimento repleto de ternura vai aos meus colegas do Laboratório de Ecologia do Plâncton: Nathalia, Lécio, Paula, Karina, Gabi, Thaiane, Vitoria, Matheus, Iollanda, Jéssica, Beatriz e, em especial, ao Pedro Menini que

incansavelmente amparou todos os meus questionamentos e auxiliou nos momentos mais difíceis deste trabalho. Você é parte fundamental da minha chegada até aqui.

A todos que de alguma forma estiveram nessa caminhada minha eterna gratidão.

RESUMO

Estudos sobre modelagem de nicho ecológico de espécies exóticas têm avançado muito nos últimos anos e devido o surgimento de novas ferramentas e tecnologias. Modelos preditivos são fundamentais para a obtenção de dados ecológicos que visam o conhecimento sobre o estabelecimento de novas espécies potencialmente invasoras no território brasileiro. Dentre os ambientes ameaçados por eventos de invasão biológica, os ecossistemas de água doce são os que carecem de maior conhecimento e estão sob crescentes ameaças como crescente urbanização e agricultura. O objetivo deste trabalho foi realizar a modelagem de nicho para as espécies *M. amazonicum* e *Macrobrachium jelskii* no Brasil e prever seu potencial invasor no território brasileiro. Essas espécies foram escolhidas porque são amplamente cultivadas e comercializadas no país e, apesar de serem nativas da Amazônia, *M. jelskii* já é considerada por alguns autores uma espécie invasora e *M. amazonicum* considerada exótica, ambas com efeitos negativos em outros ecossistemas. Através da modelagem de nicho foi possível observar as zonas mais vulneráveis para a ocorrência dessas espécies potencialmente invasoras. Os dados de presença das espécies foram obtidos por meio de uma revisão sistemática da literatura, realizada nas bases de artigos científicos *Web of Science*, *Scopus* e *ASFA*, e a partir de dados disponíveis na plataforma *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) até o ano de 2021. Os dados de ocorrência das espécies foram associados com as variáveis preditoras locais de clima para o presente. As variáveis climáticas foram obtidas na base de dados *Worldclim*. Todas as análises foram realizadas utilizando os softwares *QGIS* e o Programa *R*. Para modelagem de distribuição das espécies e demarcação de potenciais áreas de ocorrência foi utilizado o algoritmo *MaxEnt* do pacote *SDM*. Nossos resultados indicaram uma extensa área de adequabilidade para *M. amazonicum* e *M. jelskii*, com valores de *TSS* e *AUC* superiores a 0,6 e 0,8, respectivamente. As áreas de adequabilidade destas espécies correspondem entre aproximadamente 6% do território nacional e abrangem diversas bacias hidrográficas e reservas biológicas de proteção ambiental brasileiras. As informações geradas pelo nosso estudo foram importantes ferramentas para identificação de áreas suscetíveis a invasão biológica e ações de conservação e manejo no território brasileiro.

Palavras-chave: Camarão de água doce. Crustacea. Espécies exóticas. Espécies invasoras. Modelagem de Nicho.

ABSTRACT

Studies on exotic species ecological niche modeling have grown up in recent years due to the emergence of new predictions tools and technologies. Predictive models are essential for obtaining ecological data aimed at understanding the establishment of new potentially invasive species in Brazilian territory. Among the environments threatened by biological invasion events, freshwater ecosystems are the ones that lack more knowledge and are under increasing threats as increasing urbanization and agriculture. The aim of this study was to perform niche modeling for the species *Macrobrachium amazonicum* and *Macrobrachium jelskii* in Brazil and predict the invasive potential de *M. amazonicum* and *M. jelskii* in the Brazilian territory. These species were chosen because they are widely cultivated and sold in the country and, despite being native to the Amazon, *M. jelskii* is already considered an invasive species by some authors and *M. amazonicum* considered exotic, both with negative effects on other ecosystems. Through niche modeling, it was possible to observe the most vulnerable zones for the occurrence of these potentially invasive species. Species presence data were obtained through a systematic review of the literature, carried out in the databases of scientific articles Web of Science, Scopus and ASFA, and from data available on the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) platform by the year 2021. Species occurrence data were associated with local climate predictor variables for the present. Climatic variables were obtained from the Worldclim database. All analyzes were carried out using QGIS software and the R program. To model the distribution of species and demarcate potential areas of occurrence, the MaxEnt algorithm of the SDM package was used. Our results indicated a large suitability area for *M. amazonicum* and *M. jelskii*, with TSS and AUC values greater than 0.6 and 0.8, respectively. The suitability areas for these species correspond to approximately 6% of the national territory and cover several hydrographic basins and biological reserves of Brazilian environmental protection. The information generated by our study was an important tool for identifying areas susceptible to biological invasion and conservation and management actions in the Brazilian territory.

Keywords: Crustacea. Exotic species. Freshwater shrimp Invasive species. Niche Modeling. Non-native species.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fluxograma PRISMA da busca realizada nas plataformas ASFA, Scopus e Web of Science referente ao processo de revisão sistemática da literatura.....	22
Figura 2	– Mapa de ocorrência de <i>Macrobrachium amazonicum</i> . Em vermelho: registros de presença obtidos através da revisão sistemática da literatura e extração dos dados online do <i>Global Biodiversity Information Facility</i> (GBIF).....	23
Figura 3	– Mapa de ocorrência de <i>Macrobrachium jelskii</i> . Em vermelho: registros de presença obtidos através da revisão sistemática da literatura e extração dos dados online do <i>Global Biodiversity Information Facility</i> (GBIF).....	24
Quadro 1	– Variáveis preditoras do WorldClim selecionadas pelo Fator de Inflação da Variância (VIF) para a modelagem de <i>Macrobrachium amazonicum</i> e <i>Macrobrachium jelskii</i>	25
Figura 4	– Média das variáveis mais importantes para a construção dos modelos de <i>Macrobrachium amazonicum</i> calculadas pela correlação de Pearson.....	27
Figura 5	– Média das variáveis mais importantes para a construção dos modelos de <i>Macrobrachium jelskii</i> calculadas pela correlação de Pearson.....	28
Figura 6	– Mapa de Adequabilidade para <i>Macrobrachium amazonicum</i> geradas pelo algoritmo MaxEnt. Faixas em vermelho indicam potencial de adequabilidade superior a 75%.....	30
Figura 7	– Mapa de Adequabilidade para <i>Macrobrachium amazonicum</i> geradas pelo algoritmo MaxEnt. Faixas em vermelho indicam potencial de adequabilidade superior a 75%.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Valores de AUC e TSS para <i>Macrobrachium jelskii</i> e <i>Macrobrachium amazonicum</i>	26
Tabela 2	– Área de adequabilidade superior a 75% para <i>Macrobrachium amazonicum</i> e <i>Macrobrachium jelskii</i> em quilômetros quadrados (Km ²) e a porcentagem relativa à área projetada (território brasileiro)	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASFA	<i>Aquatic Sciences and Fisheries Abstract</i>
AUC	<i>Area Under Curve</i> (Área sobre a curva)
GADM	<i>Global Administrative Areas Databases</i> (Banco de Dados de Áreas Administrativas Globais)
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
MaxEnt	<i>Maximum entropy modeling</i> (Modelo de Máxima Entropia)
ROC	<i>Receiver Operating Characteristic</i>
TSS	True Skill Statistics
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i> (Fator de Inflação da Variância)

LISTA DE SÍMBOLOS

\pm Variação máxima ou mínima de uma média (desvio padrão)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	18
2.1	SELEÇÃO DAS ESPÉCIES.....	18
2.2	REVISÃO SISTEMÁTICA.....	18
2.3	SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	19
2.4	PROTOCOLO DE MODELO.....	19
3	RESULTADOS.....	21
3.1	REVISÃO SISTEMÁTICA	21
3.2	MODELAGEM DE NICHOS	24
4	DISCUSSÃO.....	32
4.1	MODELAGEM DE NICHOS.....	32
4.2	LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS DESTE ESTUDO.....	33
5	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS	36
	APÊNDICE A – Lista de artigos elegíveis após a revisão sistemática da literatura.....	47

1 INTRODUÇÃO

Crustáceos de água doce representam um grupo muito importante para o ecossistema aquático, uma vez que ocupa diferentes níveis tróficos e possui alta importância econômica como iguaria na culinária (KAESTNER, 1980).

Dentre os crustáceos, os camarões de água doce desempenham um papel central nos processos ecológicos nos ecossistemas, uma vez que atuam como predadores de outros invertebrados, são animais epibentônicos e detritívoros, mas também se alimentam de peixes e alevinos. Conhecer a biologia e a ecologia de camarões dulcícolas, bem como o seu nicho torna-se uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo, pois permite um melhor aproveitamento dos recursos naturais e a conservação dos habitats (JUNK & MELO, 1987).

Os camarões dulcícolas estão entre os representantes da ordem Decapoda (Latreille, 1802), distribuídos em quatro famílias: Atyidae, Euryrhynchidae, Sergestidae e Palaemonidae. A família Palaemonidae representa os camarões de água doce, sendo o gênero *Macrobrachium* o mais representativo com cerca de 19 espécies registradas no Brasil e 120 espécies registradas no mundo. As espécies de ocorrência no Brasil ocorrem em praticamente em todo o território (VALENTI et al., 2003. BENTES et al., 2016). A espécie *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1861) é espécie brasileira mais comum do gênero, contudo é comum encontrá-la em outros países da América do Sul nas bacias hidrográficas da Amazônia (MORAES-VALENTI, 2010; AYA-BAQUERO et al., 2013). *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) é conhecido popularmente como camarão sossego, possui a biologia e a morfologia muito parecida com *M. amazonicum*. Sua distribuição natural também ocorre na Amazônia, desde bacias e microbacias da Venezuela e Guianas, incluindo Brasil, Colômbia e Peru até a porção norte da Bolívia (MELO, 2003).

M. amazonicum é conhecido como camarão-da-Amazônia e é um camarão relativamente pequeno quando comparado a outros camarões do gênero (ROCHA, 2010). Esta espécie se destaca dentro do gênero *Macrobrachium* por habitar regiões interiores de continentes, ao invés de se restringir a áreas costeiras e estuarinas como a maioria das espécies do gênero (ANGER, 2013). É considerada a espécie com maior potencial para cultivo comercial no Brasil, o que aumenta a probabilidade de introduções fora de sua área nativa (KUTTY, 2000). Sua distribuição natural inclui

as bacias dos rios Orinoco, Amazonas, Araguaia e Tocantins, com até 3.400 km de distância do Oceano Atlântico (ODINETZ COLLART & RABELO, 1996). Contudo esta espécie é considerada uma espécie exótica em diversas outras bacias do território brasileiro, como a bacia do Rio Paraná, Rio São Francisco, Rio Grande e em áreas do Pantanal. Acredita-se que a ocorrência de *M. amazonicum* nestas bacias e sub-bacias pode ser considerada um efeito a longo prazo de ações antropogênicas (MAGALHAES et al., 2005).

M. jelskii é uma espécie altamente adaptada a águas continentais uma vez que não necessita da salinidade para completar o seu ciclo reprodutivo, como grande parte dos camarões de água doce (PEREIRA & GARCIA, 1995). O ambiente mais comum para *M. jelskii* está em águas escuras com pouca vegetação marginal, substratos lamacentos ou em associação com raízes de macrófitas, importante para a proteção dos ovos e das larvas, e raramente encontradas em águas transparentes ou com substratos pedregosos e arenosos (MELO, 2003; MACEDO et al., 2021). Além disso, *M. jelskii* se tornou uma espécie que se adaptou fortemente as intervenções humanas, principalmente próximo a barragens e represas, se tornando comum a presença dela nessas localidades (LIMA et al., 2013). *M. jelskii* possui algumas características especiais quando comparadas a outras espécies do gênero, como por exemplo a capacidade de tolerar as condições adversas em ambientes com quase nenhum oxigênio dissolvido (BASTOS & PAIVA, 1959). Apesar de ser nativa da região amazônica, sendo encontrada praticamente na mesma faixa nativa de *M. amazonicum*, essa espécie é considerada por alguns autores como espécie exótica invasora, capaz de causar impactos significativos em novos ecossistemas (MAGALHÃES et al., 2005; SILVA, 2010; LATINI, 2016). Na Bacia do Rio São Francisco, há relatos de pescadores mudando seu comportamento após observarem um aumento considerável nas populações de camarões, impactando diretamente na produção (SILVA, 2010). Entretanto, não há trabalhos que avaliam o impacto dessa espécie em novos ecossistemas, além disso, as informações sobre a biologia e ecologia de *M. jelskii* ainda são muito escassas, o que torna impreciso calcular os impactos causados em regiões supostamente invadidas.

Acredita-se que o primeiro registro de introdução de ambas as espécies em regiões fora da distribuição natural se deu no Estado de São Paulo, na década de 1960. A companhia energética do Estado de São Paulo introduziu essas duas espécies com o objetivo de fomentar a piscicultura, uma vez que essas espécies

poderiam ser utilizadas para alimentação de peixes de interesse comercial (GONÇALVES, 1987; TORLONI, 1993). Acredita-se que *M. amazonicum* e *M. jelskii* poderiam ter tido o mesmo padrão de dispersão de alguns peixes invasores, que escaparam dos tanques de cultivos para ambientes naturais (GONÇALVES, 1987; TORLONI, 1993). *M. amazonicum* e *M. jelskii* encontraram condições favoráveis para o seu estabelecimento em diversas bacias hidrográficas no sul e sudeste do Brasil, como as várzeas do montante do Rio Paraná (BIALETZKI et al., 1997, COSTA E SILVA et al., 2019).

O Estado de São Paulo ainda adquire pós-larvas de *M. amazonicum* de produtores da região amazônica para o cultivo experimental em Universidades e Prefeituras de alguns municípios (MAGALHÃES et al., 2005) como em Jaboticabal (São Paulo) e na Universidade Estadual Paulista (UNESP). Observa-se também que atividades de produção pesqueira como esta tem se espalhado para outros estados do Nordeste e Sul do país e, apesar desses animais estarem submetidos a um rigoroso controle de fuga, os registros de escape tem aumentado nas últimas décadas (BRIDGER & GARBER, 2002; MORAES-VALENTI & VALENTI, 2010; DE FARIAS LIMA et al., 2019). No entanto, considera-se também que ambas as espécies podem ter sido transplantadas de populações distribuídas naturalmente para outras regiões do Brasil por meio da prática de “Pesque & Pague”. Certos peixes capturados em seus ambientes naturais na Amazônia e no Pantanal frequentemente são usados para encher lagos e reservatórios usados na campanha. Formas larvais e juvenis destas espécies podem ser transportadas acidentalmente junto com estes peixes e/ou com as raízes de macrófitas, locais onde abrigam formas imaturas de camarões (MAGALHÃES, 2001, MAGALHÃES, 2005).

Acredita-se que o deslocamento de barreiras e o escape de tanques de aquicultura sejam as formas mais plausíveis de colonização de *M. amazonicum* e *M. jelskii* fora de suas faixas de distribuição natural. Estudos no início da dispersão destes animais apontam que a inundação das Cataratas do Guaíra, após a construção da Barreira de Itaipu no Paraná, e da jusante do Rio Tocantins, após a construção da Barragem de Tucuruí, permitiram a dispersão de diversas espécies de peixes e crustáceos rio acima, inclusive das espécies do gênero *Macrobrachium*, que encontraram condições favoráveis para se estabelecerem (ODINETZ COLLART, 1987; AGOSTINHO et al., 1994).

O cultivo de camarões é uma das commodities mais promissoras do setor econômico brasileiro (FAST & LESTER, 1992; WICKINS & LEE, 2002). Dentre todas as espécies de camarões de água doce, o gênero *Macrobrachium* se destaca como de importância comercial e econômica devido suas características físicas e fisiológicas (CHAVES & MAGALHÃES, 1993).

Desde a década de 1980 a produção de camarões do gênero *Macrobrachium* é incentivada no Brasil, alertando a comunidade científica quanto ao estabelecimento dessas espécies fora da distribuição natural, aumentando as chances de uma possível invasão a longo prazo. Tanto *M. amazonicum* quanto *M. jelskii* são espécies altamente adaptadas aos ecossistemas de água doce e podem tolerar grandes gradientes de salinidade e flutuações de temperatura (MCNAMARA & FARIA, 2012). Essa característica confere a essas espécies uma vantagem adaptativa na colonização de novos ambientes, pois a tolerância às flutuações de temperatura e salinidade pode influenciar diretamente na composição biótica do ecossistema, no ciclo reprodutivo e no desenvolvimento larval dos juvenis (FUKUDA et al., 2016, BOUDOUR-BOUCHEKER et al., 2016).

Sabe-se que o número de espécies exóticas de águas continentais no Brasil tem aumentado nas últimas décadas, preocupando ainda mais a conservação destes ambientes e alertando para a necessidade de melhores planos de manejo e conservação.

Os modelos de nicho ecológico (MNE) tem se tornado uma ferramenta útil em trabalhos de monitoramento de espécies exóticas e invasoras (CAPINHA et al., 2011; JOHOVIC et al., 2020; ZHANG et al., 2020a) e aplicados em muitos contextos nos últimos anos, inclusive como suporte a políticas públicas, na tomada de decisões de conservação da natureza e na gestão de ecossistemas aquáticos (GUISAN et al., 2013; LEIDENBERGER et al., 2015). Os MNE utilizam variáveis ambientais associadas aos dados de presença das espécies para prever padrões de distribuição espacial usando uma abordagem correlativa baseada em seu nicho. Ou seja, previsão destes ambientes adequados utiliza uma série de relações empíricas entre a distribuição atual da espécie de interesse com as variáveis ambientais, chamada de variáveis preditoras, que estão associadas a ecologia da espécie que determinará a sua distribuição potencial (SOBERON & PETERSON, 2005). Além disso, avanços recentes em tecnologias e o desenvolvimento de novos softwares, incluindo sensoriamento remoto, mineração de dados, juntamente com a

disponibilidade de dados ambientais em grande escala em diferentes bancos de dados digitais, contribuíram significativamente para melhorias das técnicas de modelagem de nicho (BOYD & FOODY, 2011; DOMISCH et al., 2015; SHAFIQUE et al. 2022).

No presente estudo, foi escolhido o Modelo de Máxima Entropia (MaxEnt) (PHILLIPS et al., 2006) para prever a área de adequabilidade potencial de *M. amazonicum* e *M. jelskii*, uma vez que este método já foi utilizado com sucesso para aplicações anteriores de modelagem de nicho com dados de presença (WEN et al., 2015; LOW et al., 2021). Além disso, esse algoritmo é altamente popular devido à grande capacidade preditiva e redução dos vieses amostrais, normalmente causados pelo número reduzido de presenças e quando a área de projeção é muito extensa (PHILLIPS et al., 2006; KALIONTZOPOULOU et al., 2008; YACKULIC et al., 2013).

Invasões biológicas, principalmente em ambientes aquáticos, são muito silenciosas e os impactos provenientes de uma invasão só são identificados a longo prazo, quando os planos de manejo são praticamente irreversíveis (MIGLIETTA & LESSIOS, 2009; BELLARD et al., 2021). Por essa razão, o desenvolvimento de estratégias de prevenção que evitam o estabelecimento de espécies potencialmente invasoras em novos ambientes pode ser uma boa alternativa. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivos i) realizar a modelagem de nicho para as espécies *M. amazonicum* e *Macrobrachium jelskii* no Brasil e ii) predizer seu potencial invasor no território brasileiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES

As espécies de camarões de água doce selecionadas como modelos de estudo em nosso trabalho foram escolhidas por se destacarem na literatura como espécies exóticas e com grande potencial de invasão em diversos ecossistemas brasileiros (LATINI, 2016). As espécies *Macrobrachium amazonicum* e *Macrobrachium jelskii*, pertencem à família Palaemonidae (Subfilo Crustacea, Rafinesque, 1815) e possuem diferentes classificações quanto ao potencial invasivo: *M. jelskii* é considerada invasora com registros de impactos causados em alguns ambientes (MAGALHÃES et al., 2005, VERA-SILVA et al., 2016). *M. amazonicum* é classificada como exótica, porém com grande potencial de invasão (ANGER, 2013) e se destaca por ser capaz de habitar áreas do interior do continente, não se limitando a regiões costeiras e estuarinas como na maioria das espécies do gênero (ANGER 2009).

Vale ressaltar que *M. amazonicum* é considerada a espécie brasileira com maior potencial para cultivo comercial, o que aumenta a possibilidade de ser introduzida fora da sua área nativa (KUTTY et al. 2000). *M. jelskii* possui o hábito de vida e a morfologia muito parecida com o *M. amazonicum*, contudo sua distribuição está direcionada às zonas costeiras desde a Venezuela até os estados da Bahia e Espírito Santo, com registros ocasionais no interior da Região Nordeste nos Estados de Minas Gerais e São Paulo (MAGALHÃES et al., 2005; SOARES et al., 2015; FEITOSA et al., 2016).

2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA

A revisão sistemática da literatura foi realizada através de três bases de dados: Web of Science, Scopus e Aquatic Science and Fisheries Abstract (ASFA). O código de busca para todas as bases foi: “(*Macrobrachium amazonicum*” OR “*Macrobrachium jelskii*”) AND (stuar* OR wetland* OR mangrove* OR freshwater OR “aquatic environment” OR “aquatic ecosystem*” OR lake* OR river* OR pond* OR reservoir* OR “drainage basin*” OR lagoon* OR “river basin*” OR stream* OR waterfall* OR watercourse* OR brook* OR creek*)”, considerando o período de 1945 até o ano de 2021.

Após a busca, os artigos encontrados foram exportados em arquivo (.RIS) e avaliados utilizando o programa EndNote versão x9.3.2 (THE ENDNOTE TEAM,

2022) onde artigos duplicados foram removidos e os demais foram selecionados de acordo com os critérios de inclusão e exclusão.

Os critérios de inclusão considerados foram: artigos com o registro das espécies de interesse (*Macrobrachium amazonicum* ou *Macrobrachium jelskii*); informações sobre localização das coletas ou coordenadas geográficas. Os critérios de exclusão foram: estudos experimentais com animais em cativeiro, laboratórios ou em tanques de aquicultura; relatórios, notas científicas (exceto os novos registros de espécies); pré-prints; capítulos de livros; estudos com animais de outras espécies. Foram consideradas também dados de presença das espécies publicados na base de dados do *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF 2022). As etapas de triagem seguiram as recomendações disponíveis no fluxograma PRISMA (MOHER et al., 2009).

2.3 SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

Os registros de presenças das espécies selecionadas extraídos da revisão sistemática da literatura e da base de dados do GBIF foram compilados e avaliados em conjunto com 19 variáveis bioclimáticas (Quadro 1) extraídas do banco de dados online WorldClim. As variáveis utilizadas foram padronizadas na resolução de 2.5 arco minutos (4.5 km). Para a modelagem de nicho das espécies, foram consideradas apenas as variáveis preditoras disponíveis para a área de projeção do território brasileiro. Para isso, foi utilizada a camada *shapefile*, disponível no Banco de Dados de Áreas Administrativas Globais - GADM.

As variáveis preditoras foram submetidas a análise de multicolinearidade através do Fator de Inflação da Variância (VIF) no pacote “USDm” (NAIMI et al., 2014) do programa R versão 4.1.2 (R CORE TEAM 2022). Como o VIF é capaz de determinar a força da correlação entre as variáveis ambientais, aquelas altamente correlacionadas, foram excluídas da modelagem de nicho, com o limite de corte padrão igual a 10 para evitar colinearidade nos modelos estatísticos (NAIMI et al., 2014).

2.4 PROTOCOLO DO MODELO

Estudos apontam a importância de se utilizar a filtragem espacial para reduzir o viés amostral (BORIA et al. 2014; MANCINELLI et al. 2021) e a utilização dos dados de *background* associados aos dados de presença (PHILLIPS et al., 2006;

KRAMER-SHADT et al., 2013 SYFERT et al., 2013). Por este motivo, todos os registros de presença de *M. amazonicum* e *M. jelskii* foram filtrados, de modo a garantir coordenadas únicas e excluir pontos que poderiam enviesar os resultados como oceanos, viés das grandes instituições, capitais, centroides, dados redundantes e pontos duplicados. Para isso, foi utilizado o pacote, “spThin” (AIELLO-LAMMENS et al., 2019) no programa R. No que se refere aos pontos de background, utilizamos o padrão de 10000 pontos de background consolidado na literatura (PHILLIPS et al., 2006) no pacote “SDM” (NAIMI & ARAÚJO, 2016). Ainda, com o objetivo de diminuir os vieses inerentes aos dados de ocorrência disponíveis, o modelo foi realizado para o subcontinente sul-americano e posteriormente projetado para o Brasil, uma vez que essas duas espécies podem ser encontradas em outros países da América do Sul. Essa estratégia atualmente é amplamente utilizada em trabalhos de modelagem para gerar modelos mais robustos (LOO et al., 2007; GOLDSMITH et al., 2018).

Para realização do modelo de nicho utilizamos o algoritmo MaxEnt (Phillips et al. 2006) do pacote “SDM” (NAIMI & ARAÚJO, 2016) no Programa R. Dez réplicas do modelo foram geradas na resolução de 2.5 arco minutos e divididos aleatoriamente entre teste e treinamento, 20% e 80%, respectivamente. Por fim, foram calculadas para ambas as espécies as variáveis mais importantes para a construção do modelo através da Correlação de Pearson, padrão do pacote SDM.

Os modelos foram avaliados através do AUC [área sobre a curva ROC (*receiver operating characteristic*)] e o *true skill statistics* (TSS). Os valores de AUC consiste em valores que variam de 0 a 1, sendo categorizados como excelentes (valores entre 0,9 - 1,0) bons (0,8 - 0,9) e úteis (0,7 - 0,8) (PETERSON & SOBERON, 2012). Já o TSS é um método dependente de limiar e seus valores podem variar entre -1 e +1, sendo os valores positivos que variam de 0,2 a 0,5 considerados ruins, de 0,6 a 0,8 úteis, e valores maiores que 0,8 são considerados excelentes (COETZEE et al., 2009, PETERSON & SOBERÓN, 2012).

Os mapas de adequabilidade foram editados no programa QGIS (versão 3.16.16) (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2022) e a área total de adequabilidade de *M. amazonicum* e *M. jelskii* foi calculada através da calculadora de campo e da ferramenta GRASS GIS r.class (WESTERVELT & SHAPIRO, 2022) com um ponto de corte acima de 0,75.

3 RESULTADOS

3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA

A revisão sistemática da literatura resultou em 626 artigos brutos retirados das bases de dados. Após a retirada das duplicatas restaram 401 artigos únicos que seguiram para o processo de triagem, obedecendo os critérios de inclusão e exclusão. Um total de 98 artigos foram elegíveis para o trabalho, ou seja, possuíam pontos de ocorrência (localização ou coordenadas geográficas) para *M. amazonicum* (n= 79 artigos) e *M. jelskii* (n= 19 artigo). No total de 79 artigos para *M. amazonicum*, 213 registros de ocorrência foram encontrados e nos 19 artigos de *M. jelskii*, 116 registros de ocorrência foram encontrados. Os artigos elegíveis para a revisão sistemática da literatura estão disponíveis no Apêndice A. Os registros de observação humana disponíveis no GBIF foram bem menores, quando comparados aos registros da literatura, foram 24 para *M. amazonicum* e 19 para *M. jelskii*. Os dados da revisão sistemática estão dispostos no fluxograma prisma abaixo (Figura 1).

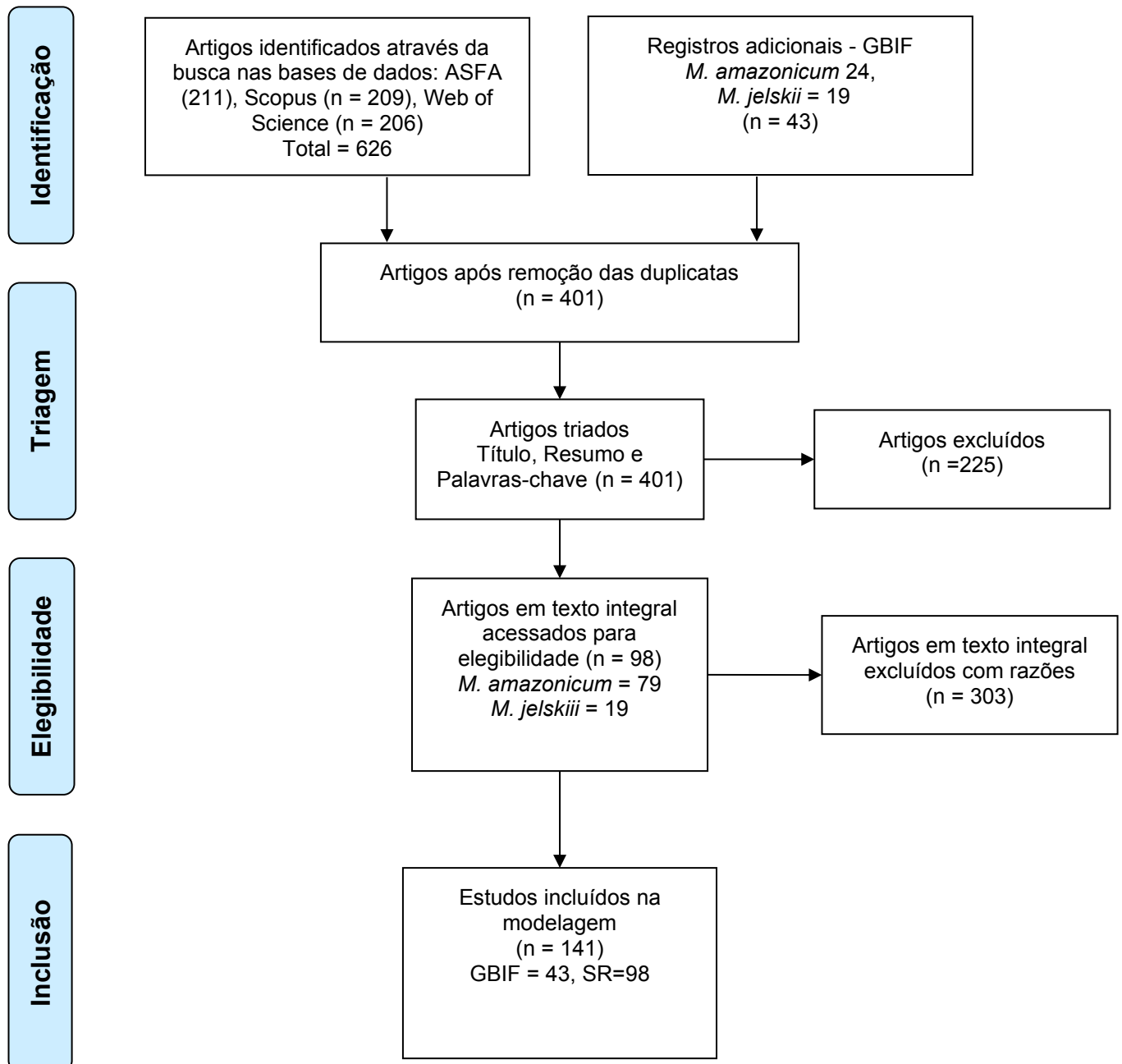


Figura 1: Fluxograma PRISMA referente ao processo de revisão sistemática da literatura. Adaptado de (MOHER et al., 2009) (PRISMA Group). GBIF = *Global biodiversity information facility*; gbif.org, consultado em 21/03/21. Dos 98 artigos incluídos para modelagem foram extraídos 329 registros de ocorrência das espécies (coordenadas geográficas).

Estão destacados na Figura 2 e na Figura 3 os mapas de ocorrência de *Macrobrachium amazonicum* e *Macrobrachium jelskii*. Com a revisão sistemática da literatura houve um aumento considerável dos registros de presenças o que permitiu melhorar o desempenho dos modelos.

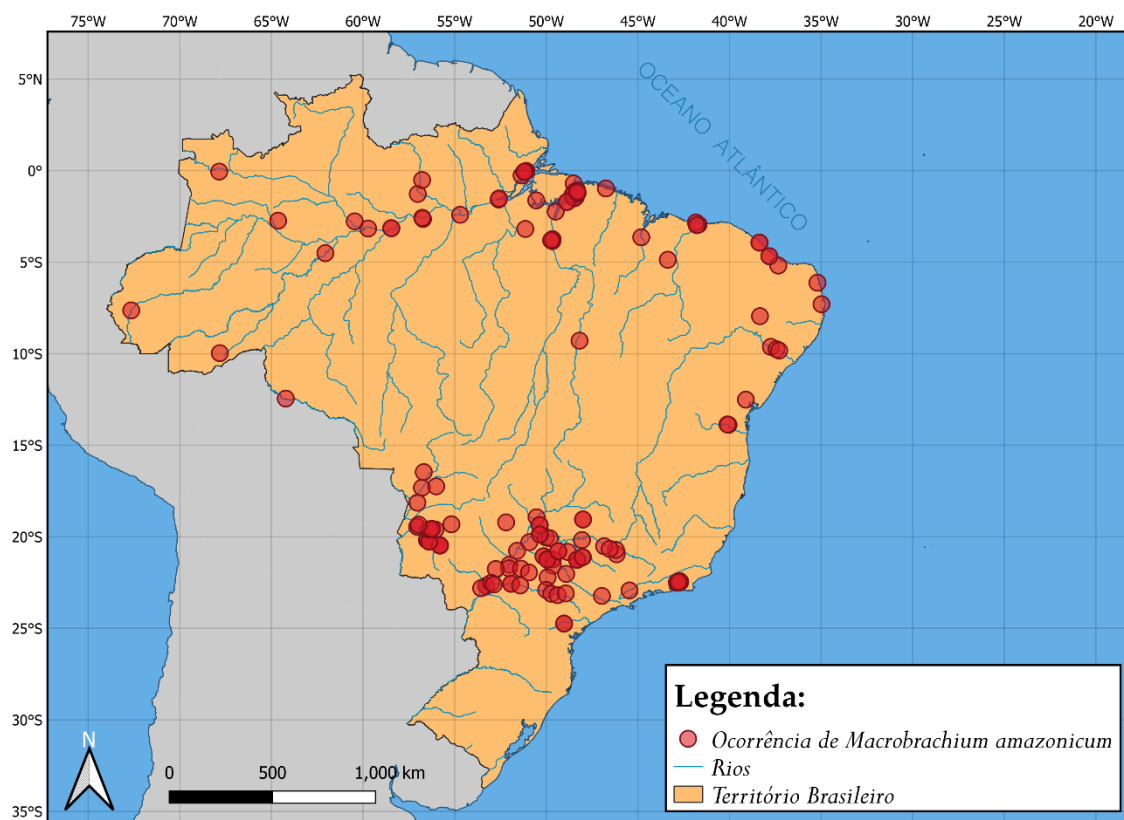


Figura 2: Mapa de ocorrência de *Macrobrachium amazonicum*. Em vermelho: registros de presença obtidos através da revisão sistemática da literatura e extração dos dados online do *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) (n = 192).



Figura 3: Mapa de ocorrência de *Macrobrachium jelskii*. Em vermelho: registros de presença obtidos através da revisão sistemática da literatura e extração dos dados online do *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF) (n = 109).

3.2 MODELAGEM DE NICHOS

Na construção dos MNE para *M. amazonicum* e *M. jelskii*, as 19 variáveis bioclimáticas extraídas do WorldClim e posteriormente selecionadas pela análise VIF, foram compiladas no Quadro 1 abaixo. As variáveis BIO2, BIO8, BIO14 e BIO18 foram selecionadas para a modelagem de ambas as espécies, entretanto apenas BIO2 foi uma preditora de grande influência no modelo de ambas as espécies.

Quadro 1 – Variáveis preditoras do WorldClim selecionadas pelo Fator de Inflação da Variância (VIF) para a modelagem de *Macrobrachium amazonicum* e *Macrobrachium jelskii*.

Variável	Descrição	<i>M. amazonicum</i>	<i>M. jelskii</i>
BIO1	Temperatura média anual	-	-
BIO2	Faixa diurna média (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	Selecionada	Selecionada
BIO3	Isotérmica (BIO2/BIO7) ($\times 100$)	Selecionada	-
BIO4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão $\times 100$)	-	Selecionada
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	-	-
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio	-	-
BIO7	Faixa Anual de Temperatura (BIO5-BIO6)	-	-
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido	Selecionada	Selecionada
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	-	-
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	-	Selecionada
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	-	-
BIO12	Precipitação anual	Selecionada	-
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	-	Selecionada
BIO14	Precipitação do mês mais seco	Selecionada	Selecionada
BIO15	Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)	Selecionada	-
BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido	-	-
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	-	-
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente	Selecionada	Selecionada
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	-	Selecionada

Os modelos de *M. amazonicum* realizados através do algoritmo MaxEnt (PHILLIPS et al., 2006) obtiveram os valores médios de AUC e TSS de 0.89 ($\pm 0,02$) e 0.66 ($\pm 0,06$) respectivamente e estão disponíveis na tabela 1. Já os modelos de *M. jelskii* obtiveram valores de AUC e TSS de 0.89 ($\pm 0,03$) e 0.67 ($\pm 0,07$) respectivamente.

Tabela 1: Valores de AUC e TSS para *Macrobrachium jelskii* e *Macrobrachium amazonicum*. \pm Desvio padrão.

Réplicas	<i>M. amazonicum</i>		<i>M. jelskii</i>	
	TSS	ROC	TSS	ROC
1	0,62	0,87	0,71	0,90
2	0,69	0,91	0,70	0,88
3	0,60	0,88	0,65	0,89
4	0,68	0,90	0,68	0,91
5	0,62	0,89	0,60	0,85
6	0,72	0,90	0,70	0,89
7	0,64	0,90	0,63	0,83
8	0,69	0,91	0,64	0,91
9	0,67	0,90	0,67	0,91
10	0,60	0,87	0,74	0,92
Média	0,66 (\pm 0,06)	0,89 (\pm 0,02)	0,67(\pm 0,07)	0,89 (\pm 0,03)

No que se refere as variáveis mais importantes para a construção dos modelos de *M. amazonicum*, as três variáveis mais representativas para nosso modelo foram BIO2 (29,2%), BIO15 (24,7%) e BIO14 (23,1%) (Figura 4). Quanto as variáveis mais importantes para *M. jelskii*, as três mais representativas foram BIO4 (45,7%), BIO2 (28,8%) e BIO13 (27,7%) (Figura 5).

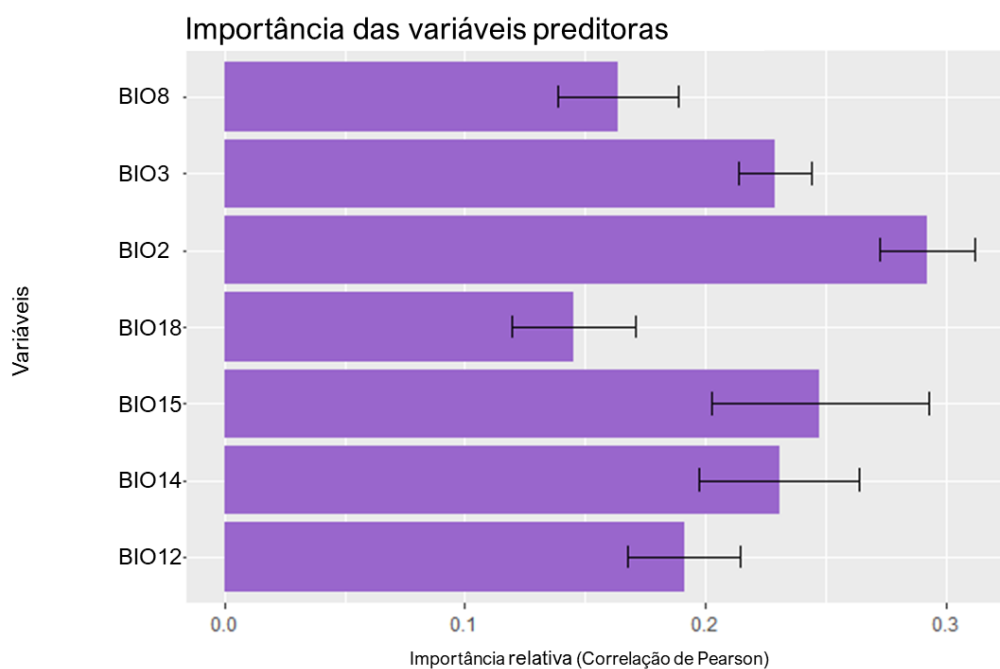


Figura 4: Média das variáveis mais importantes para a construção dos modelos de *Macrobrachium amazonicum* calculadas pela correlação de Pearson. Legenda: BIO2 = Amplitude da Temperatura Diurna Média, BIO3 = Isotermalidade, BIO4 = Sazonalidade da temperatura, BIO8 = média de temperatura do trimestre mais chuvoso, BIO12 = Precipitação anual, BIO14 = precipitação do mês mais seco, BIO15 = Sazonalidade da precipitação, BIO18 = precipitação do trimestre mais quente.

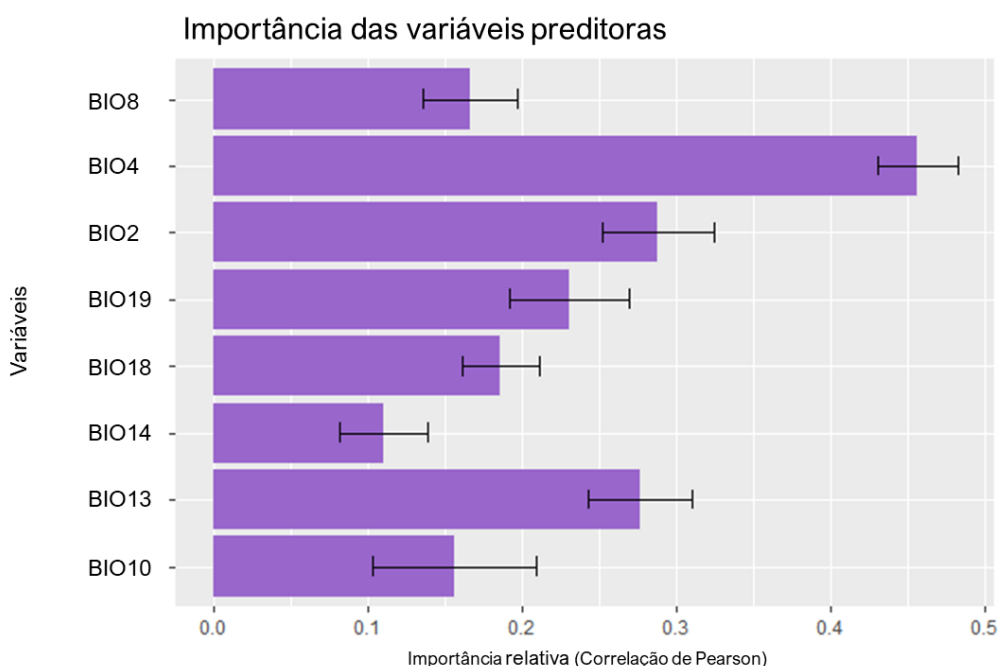


Figura 5: Média das variáveis mais importantes para a construção dos modelos de *Macrobrachium jelskii* calculadas pela correlação de Pearson. Legenda: BIO2 = amplitude da temperatura diurna média, BIO4 = sazonalidade da temperatura, BIO8 = média de temperatura do trimestre mais chuvoso, BIO10 = Temperatura média do trimestre mais quente, BIO13 = Precipitação do mês mais chuvoso, BIO14 = precipitação do mês mais seco, BIO18 = precipitação do trimestre mais quente, BIO19 = Precipitação do trimestre mais frio.

Os mapas de adequabilidade para *M. amazonicum* realizados pelo algoritmo MaxEnt está disposto na Figura 6. Todas as réplicas dos modelos gerados pelo MaxEnt tiveram bons desempenhos com base nos valores de AUC e TSS (Tabela 1), com valores entre 0,87 e 0,92 e 0,6 e 0,72 respectivamente. Para os valores de TSS, os modelos apresentaram valores mais oscilantes, mas todos com média acima de 0,6 que são considerados como úteis (PETERSON & SOBERÓN, 2012). A avaliação dos modelos de *M. jelskii* foi semelhante ao de *M. amazonicum*, porém com uma oscilação ligeiramente maior no TSS, os resultados de AUC e TSS (Tabela 1) variaram entre 0,86 e 0,92 e 0,6 e 0,74, respectivamente e os mapas de adequabilidade para *M. jelskii* está destacado na Figura 7. *M. amazonicum* apresentou uma área de adequabilidade superior a 75% com 100.000 Km² de a mais que *M. jelskii*, o que corresponde a 6,25 % do território nacional, como destacado na Tabela 2. A maior concentração de adequabilidade para *M. amazonicum* está na

Região Sudeste e no Pantanal Mato-grossense. Já *M. jelskii* está mais restrito a zonas da costa brasileira.

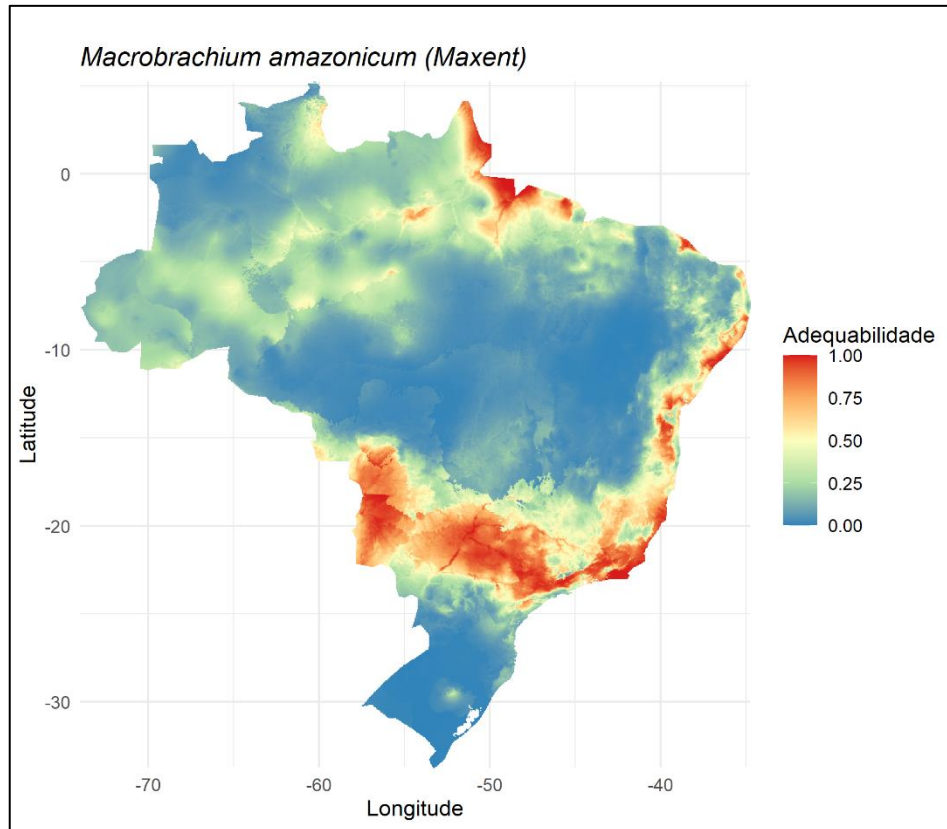


Figura 6: Mapa de Adequabilidade para *Macrobrachium amazonicum* geradas pelo algoritmo MaxEnt. Faixas em vermelho indicam potencial de adequabilidade superior a 75%.

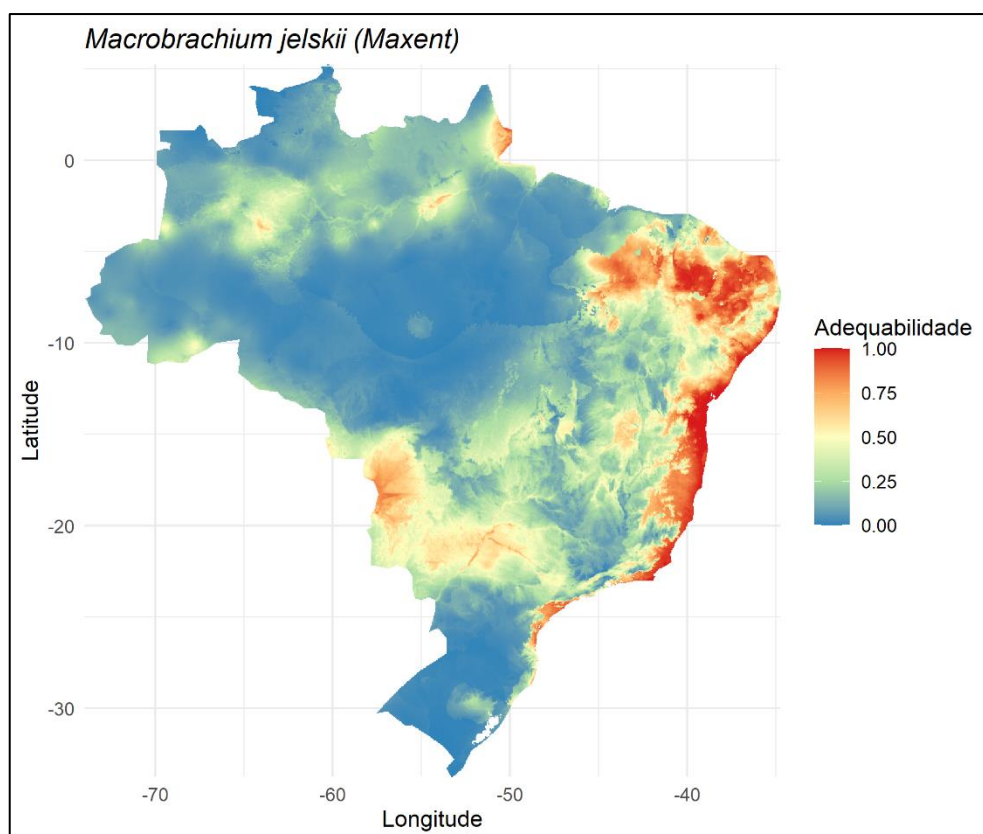


Figura 7: Mapa de Adequabilidade para *Macrobrachium jelskii* geradas pelo algoritmo MaxEnt. Faixas em vermelho indicam potencial de adequabilidade superior a 75%.

Tabela 2: Área de adequabilidade superior a 75% para *Macrobrachium amazonicum* e *Macrobrachium jelskii* em quilômetros quadrados (Km²) e a porcentagem relativa à área projetada (território brasileiro).

Espécies	Área de Adequabilidade (Km ²)	Área de Adequabilidade (%)
<i>M. amazonicum</i>	532.866	6,25
<i>M. jelskii</i>	480.355	5,64
Área projetada	8.516.000	100

4 DISCUSSÃO

4.1 ÁREAS DE ADEQUABILIDADE

Os nossos resultados indicaram uma extensa área de adequabilidade tanto para *M. amazonicum* quanto para *M. jelskii*, áreas estas que se sobrepõem em diversas regiões. Essas regiões estão em interseção com diversas bacias hidrográficas nas Regiões do Centro Oeste e Sudeste do Brasil, bem como zonas costeiras de todo o domínio da Floresta Atlântica.

Espécies altamente adaptadas a região amazônica, como o caso das espécies nativas de *M. amazonicum* e *M. jelskii*, podem causar problemas significativos quando introduzida em outras regiões. Essas espécies toleram uma amplitude de condições ambientais como salinidade, temperatura e osmoregulação (MCNAMARRA & MOREIRA, 1986; ZANDERS & RODRÍGUEZ, 1992; SANTOS et al., 2007; BANDEIRA et al., 2022). Em ambientes sem predadores naturais e condições de temperatura e precipitação favoráveis ao seu desenvolvimento, a longo prazo essas espécies se tornam potencialmente invasoras (NEW et al. 2009; DA SILVA et al. 2018; BANDEIRA et al. 2022). Ações antropogênicas, principalmente no que se refere ao deslocamento de barreiras, inundações por represa, translocação de espécimes, pesca esportiva e escapes dos tanques de cultivo, estão entre as principais causas de introdução de *M. amazonicum* e *M. jelskii* (MAGALHÃES et al., 2005; NAKANO & STRAYER, 2014; WEISS et al., 2015) em novos ambientes.

Acredita-se que o Nordeste tenha registrado o primeiro caso de introdução de *M. amazonicum* fora do ambiente natural, que chegou a ser considerada como uma alternativa de alimento em tanques de cultivo de peixes e depois foi explorado na aquicultura (COELHO et al., 1984; COLER et al., 1999; MAGALHÃES et al 2005). Novos registros foram também realizados nas bacias do Rio Grande, Rio Tietê, Rio Paraná, Rio do Peixe e Rio Paranapanema (ALMEIDA et al, 1997; BIALETZKI et al., 1997; CHERNOFF & WILLINK, 2000).

Para *M. amazonicum*, muitos estudos a respeito da ecologia reprodução e distribuição da espécie já foram realizados (MAGALHÃES & WALKER, 1988; ODINETZ COLLART, 1991; ODINETZ COLLART & RABELO, 1996), mas ainda pouco se sabe sobre a biologia e ecologia de *M. jelskii*, sendo impreciso calcular os impactos causados dessa espécie em regiões onde se tornaram invasoras (LATINI, 2016; DA SILVA, 2018).

Embora a área de adequabilidade de *M. jelskii* esteja mais restrita a costa brasileira, a sua distribuição não está limitada a essa localidade, uma vez que essa espécie é independente da água salobra para reprodução (MONTROYA, 2003; SOARES et al., 2015). Já outras espécies do gênero *Macrobrachium* dependem da salinidade para o desenvolvimento dos ovos e reprodução (SOEIRO et al., 2016). Apesar disso, *M. amazonicum*, mesmo dependendo da salinidade para reprodução, apresenta adaptações importantes para superar essa condição como aumento do tamanho dos ovos e retardamento do crescimento gonadal nos juvenis (VEGA PEREZ, 1984; ODINETZ COLLART & RABELO, 1996). Isso ajuda a compreender as variáveis mais importantes dos modelos de ambas as espécies.

A precipitação foi uma das variáveis mais importantes para a construção do modelo de *M. amazonicum*, sendo a precipitação do mês mais seco e a sazonalidade da precipitação como uma das variáveis mais explicativas. Há relatos de que a precipitação altera o comportamento reprodutivo de muitos crustáceos dulcícolas (TAKINO et al., 1989). Essa variável é fundamental para aumentar a vazão dos rios, que facilita a comunicação entre os corpos d'água e, por sua vez, permite a migração dos camarões de água doce no período de reprodução (SOARES et al., 2015). De maneira geral, esse resultado era esperado, uma vez que a precipitação interfere diretamente na salinidade da água e no fluxo dos rios, o que corresponde a biologia reprodutiva da espécie. Além disso, a precipitação é diretamente proporcional ao aporte de nutrientes disponíveis no ecossistema permitindo um ambiente favorável para o crescimento larval e desenvolvimento dos adultos (NAKANO & STRAYER, 2014, GUIMARÃES, 2014).

Para *M. jelskii* as variáveis mais influentes na construção dos modelos foram variáveis de temperatura, como a amplitude da temperatura diurna média, sazonalidade da temperatura. Por essa razão, acredita-se que essas variáveis foram fundamentais para destacar a alta adequabilidade, superior a 75%, na faixa intertropical das zonas costeiras para essa espécie. Alguns autores destacam a importância da temperatura do ar e da água para o desenvolvimento de algumas espécies do gênero *Macrobrachium*, inclusive para *M. jelskii* (WEAR, 1974; LAL et al., 2012).

4.2 LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS DESTE ESTUDO

Alguns métodos para evitar a ocorrência de vieses no presente estudo foram adotados, como o uso do algoritmo MaxEnt, que se baseia em pontos de *background*, número de registros de ocorrência e nas variáveis disponíveis assumindo previsões ou inferências de informações incompletas ou insuficientes (PHILLIPS et al 2006), e até mesmo a própria realização da revisão sistemática da literatura, o que fez aumentar significativamente os registros de ocorrência. Contudo, a maioria dos trabalhos de modelagem para espécies aquáticas ainda utilizam variáveis preditoras terrestres para prever a sua distribuição e nicho. Isso acontece porque as variáveis preditoras exclusivas para água doce ainda necessitam de melhorias e quase sempre dependem de uma associação com variáveis as terrestres. A literatura alerta quanto ao uso de variáveis terrestres em modelagem de espécies aquáticas, embora muitos autores utilizem esse método (BRADIE & LEUNG 2017). Acredita-se que as variáveis terrestres podem inferir resultados incompatíveis com o nicho da espécie, mas devido a carência desse tipo de dado, o uso das variáveis do WorldClim é aconselhado (FRIEDRICHS-MANTHEY et al., 2020). Apesar disso, estudos recentes arriscaram modelar suas espécies com variáveis específicas para água doce, como o caso de (ZHANG et al., 2020b) e (EGLY et al., 2021), muito embora os próprios autores ressaltem possíveis falhas. Entretanto, mesmo com as limitações inerentes aos dados disponíveis, os resultados do presente estudo foram promissores e geraram modelos robustos com valores aceitáveis de TSS e AUC (PETERSON & SOBERON, 2012).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho destacou novas informações relativas ao potencial nicho de duas espécies de camarões de água doce no Brasil. Sabe-se que ainda são necessários estudos que buscam compreender melhor a distribuição destas espécies no território brasileiro. Para estudos posteriores, sugere-se que sejam realizadas pesquisas com idas a campo, sobretudo nas áreas com potencial de adequabilidade superior a 75% destacadas no trabalho, para verificar se estes locais já estão colonizados e avaliar avanço e possíveis impactos dessas espécies.

Conforme destacado no trabalho, ainda é impreciso definir que as espécies atualmente categorizadas como exóticas possam causar impactos, confirmando que novos estudos são necessários para avaliar os impactos dessas espécies a curto e longo prazos e estudos como este devem ser frequentemente reaplicados de acordo

com o desenvolvimento de novas metodologias e inovações, incluindo novos dados na literatura e bases de dados.

Este estudo fornece informações abrangentes por meio do MNE para ajudar a identificar zonas de maior vulnerabilidade de invasão com base na adequação do habitat e potencial invasivo dos camarões de água doce. Nesse contexto, atenção especial é dada às novas ocorrências dessas espécies, principalmente nas áreas mais vulneráveis destacadas neste trabalho. Além disso, os resultados deste estudo são relevantes para aplicações futuras no manejo de espécies exóticas, incluindo o controle da implementação de espécies para aquicultura, a criação de planos de manejo de espécies exóticas e a conservação e proteção de habitats vulneráveis para possível colonização dessas espécies.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A.A.; JÚLIO J. H.F.; PETRETE J. M. Itaipu reservoir (Brazil): impacts of the impoundment on the fish fauna and fisheries. In: COWX, I.G. (Ed.). Rehabilitation of freshwater fisheries. Osney Mead, **Oxford: Fishing News Books**, chap.16, p.171-184,1994.
- AIELLO-LAMMENS M.E., BORJA R.A., RADOSAVLJEVIC A., VILELA B., ANDERSON R.P., BJORNSEN R., WESTON S. spThin: Functions for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological models. R package version 0.1. 0. 2014.
- ALMEIDA, V. L. L.; HAHN, N. S.; VAZZOLER, A. D. M. (1997). Feeding patterns in five predatory fishes of the high Paraná River floodplain (PR, Brazil). **Ecology of Freshwater Fish**, v. 6, n. 3, p. 123-133, 1997.
- ANGER, K. 2013. Neotropical *Macrobrachium* (Caridea: Palaemonidae): on the biology, origin, and radiation of freshwater-invading shrimp. **Journal of Crustacean Biology**, v. 33, n. 2, p. 151-183, 2013.
- ANGER, K.; HAYD, L.; KNOTT, J.; NETTELMANN, U. Patterns of larval growth and chemical composition in the Amazon River prawn, *Macrobrachium amazonicum*. **Aquaculture**, v. 287, n. 3-4, p. 341-348, 2009.
- AYA-BAQUERO, E.; VELASCO-SANTAMARÍA, Y. Fecundity and fertility of *Macrobrachium amazonicum* (Héller 1862) (Decápoda, Palaemonidae) of Colombian Piedemonte Llanero. **Revista MVZ Córdoba**, v. 18, n. 3, p. 3773-3780, 2013.
- BANDEIRA L.C.P., MELO D.S., GEMAQUE T.C., COSTA D.P., MIRANDA-FILHO K.C. (2022). Salinity tolerance and water ionic balance in *Macrobrachium jelskii* post-larvae. **Research Square** (pré-print PPR:PPR567492 disponível em (doi:10.21203/rs.3.rs-1988276/v1.)
- BASTOS, J. A.; PAIVA, M. P. Notas sobre o consumo de oxigênio do camarão "sossego", "*Macrobrachium jelskii*" (Miers, 1877) Chace Holthuis, 1948. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 19, n.4, p. 413-419, 1959.

- BELLARD, C.; BERNERY, C.; LECLERC, C. Looming extinctions due to invasive species: Irreversible loss of ecological strategy and evolutionary history. **Global Change Biology**, v. 27, n. 20, p. 4967-4979, 2021.
- BENTES, B.; MARTINELLI-LEMOES, J. M.; ARAÚJO, C.; ISAAC, V. A pesca do camarão-da-Amazônia, perspectivas futuras no litoral paraense. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 2, p. 56-59, 2001.
- BIALETZKI, A.; NAKATANI, K.; BAUMGARTNER, G.; BOND-BUCKUP, G. Occurrence of *Macrobrachium amazonicum* (Heller) (Decapoda, Palaemonidae) in Leopoldo's inlet (Ressaco do Leopoldo), upper Paraná River, Porto Rico, Paraná, Brazil. **Revista brasileira de Zoologia**, v. 14, p. 379-390, 1997.
- BORIA, R. A.; OLSON, L. E.; GOODMAN, S. M.; ANDERSON, R. P. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. **Ecological modelling**, v. 275, p. 73-77, 2014.
- BOUDOUR-BOUCHEKER, N.; BOULO, V.; CHARMANTIER-DAURES, M.; ANGER, K.; CHARMANTIER, G.; LORIN-NEBEL, C. Osmoregulation in larvae and juveniles of two recently separated *Macrobrachium* species: Expression patterns of ion transporter genes. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular Integrative Physiology**, v. 195, p. 39-45, 2016.
- BOYD, D. S.; FOODY, G. M. An overview of recent remote sensing and GIS based research in ecological informatics. **Ecological Informatics**, v. 6, n. 1, p. 25-36, 2011.
- BRADIE, J.; LEUNG, B. A quantitative synthesis of the importance of variables used in MaxEnt species distribution models. **Journal of Biogeography**, v. 44, n. 6, p. 1344-1361, 2017.
- BRIDGER, C. J.; GARBER, A. F. Aquaculture escapement, implications and mitigation: the salmonid case study. In: Costa-Pierce, B. A. (ed.) *Ecological Aquaculture The Evolution of The Blue Revolution*. Oxford, **Blackwell Science Ltd**, p.77-102, 2002.

- CAPINHA, C.; LEUNG, B.; ANASTÁCIO, P. Predicting worldwide invasiveness for four major problematic decapods: an evaluation of using different calibration sets. **Ecography**, v. 34, n.3, p. 448-459, 2011.
- CHAVES P.T.C.; MAGALHÃES C. O desenvolvimento ovocitário em *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae), camarão dulcícola da região amazônica. **Acta Amazon**, v. 23, p. 17-23, 1993.
- CHERNOFF, B.; WILLINK, P. W. Biodiversity patterns within the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. A biological assessment of the aquatic ecosystems of the Pantanal, Mato Grosso do Sul, Brasil. **Bulletin of Biological Assessment**, v. 18, p. 103-106, 2000.
- COELHO, P. A.; RAMOS-PORTO, M. Camarões de água doce do Brasil: distribuição geográfica. **Revista brasileira de Zoologia**, v. 2, p. 405-410, 1984.
- COETZEE, B. W.; ROBERTSON, M. P.; ERASMUS, B. F.; VAN RENSBURG, B. J.; THUILLER, W. Ensemble models predict Important Bird Areas in southern Africa will become less effective for conserving endemic birds under climate change. **Global Ecology and Biogeography**, v. 18, n.6, p. 701-710, 2009.
- COLER, R. A. ET AL. 1999. A preliminary report on the application of *Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862 (Decapoda: Palaemonidae) as a biomarker. **Hydrobiologia**, v. 412, p. 119-121, 1999.
- COSTA E SILVA, R.; CUNHA, M. C.; MOSSOLIN, E. C.; JACOBUCCI, G. B. Population structure of *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) in miranda hydroelectric plant reservoir, Araguari river, Minas Gerais, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 31, 2019.
- DA SILVA, T. E.; ALVES, D. F. R.; BARROS-ALVES, S. D. P.; ALMEIDA, A. C.; TADDEI, F. G.; FRANSOZO, A. Morphometric differences between two exotic invasive freshwater caridean species (genus *Macrobrachium*). **Invertebrate Reproduction & Development**, v. 62, n. 4, p. 221-228, 2018.
- DE FARIAS LIMA, J.; DUARTE, S. S.; BASTOS, A. M.; CARVALHO, T. Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n.13, p.13476-13488, 2019.

- DE LIMA, D. P.; DA SILVA, L. M. A.; DE LIRA, A. C. S. Biologia populacional de *Macrobrachium jelskii* (MIERS, 1778) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) em uma planície inundável na Amazônia Oriental, Brasil. **Embrapa Amapá-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2013.
- DOMISCH, S.; AMATULLI, G.; JETZ, W. Near-global freshwater-specific environmental variables for biodiversity analyses in 1 km resolution. **Scientific data**, v. 2, n.1, p. 1-13, 2015.
- EGLY, R. M.; O'SHAUGHNESSEY, E. M.; KELLER, R. P. Updated occurrence data and species distribution modeling of the invasive amphipod *Apocorophium lacustre* in North America. **Freshwater Science**, v. 40, n. 1, p. 162-174, 2021.
- FAST, A.W., BOYD, C.E. Water circulation, aeration and other management practices. In: Fast, A.W., Lester, L.J. (Eds.), *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*. **Elsevier Science Publishers**, The Hague, Netherlands, pp. 457–495, 1992.
- FEITOSA, W. S.; NERY, M. F. G.; DE LUCENA, I. C.; LADIM, F. G. S.; PINHEIRO, A. P. Ocorrência dos camarões *Macrobrachium amazonicum* (HELLER, 1862) E *Macrobrachium jelskii* (MIERS, 1877). **Cadernos de Cultura e Ciência**, v. 15, n.1, p. 39-46, 2016.
- FRIEDRICHS-MANTHEY, M.; LANGHANS, S. D.; HEIN, T.; BORGWARDT, F.; KLING, H.; JÄHNIG, S. C.; DOMISCH, S. From topography to hydrology—The modifiable area unit problem impacts freshwater species distribution models. **Ecology and evolution**, v. 10, n. 6, p. 2956-2968, 2020.
- FUKUDA, B.; BERTINI, G.; ALMEIDA, L. C. Effect of salinity on the embryonic development of *Macrobrachium acanthurus* (Decapoda: Palaemonidae). **Invertebrate Reproduction Development**, v. 61, n.1, p. 1–8, 2017
- GOLDSMIT, J.; ARCHAMBAULT, P.; CHUST, G.; VILLARINO, E.; LIU, G.; LUKOVICH, J. V.; HOWLAND, K. L. Projecting present and future habitat suitability of ship-mediated aquatic invasive species in the Canadian Arctic. **Biological Invasions**, v. 20, n. 2, p. 501-517, 2018.
- GONÇALVES, M. Análise da produção de camarões *Macrobrachium amazonicum* Heller e *M. jelskii*, em 14 açudes administrados pelo Departamento Nacional

de Obras Contra as Secas - DNOCS, período de 1977 a 1986. 1987. TCC (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1987.

GUIMARÃES, R. H. E. **influência da sazonalidade sobre as águas estuarinas dos furos da ilha de colares (baía do Marajó)**. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 2014. 114p.

GUISAN, A.; TINGLEY, R.; BAUMGARTNER, J. B.; NAUJOKAITIS-LEWIS, I.; SUTCLIFFE, P. R.; TULLOCH, A. I.; BUCKLEY, Y. M. Predicting species distributions for conservation decisions. **Ecology letters**, v. 16, n. 12, p. 1424-1435, 2013.

JOHOVIC, I.; GAMA, M.; BANHA, F.; TRICARICO, E.; ANASTÁCIO, P. M. A potential threat to amphibians in the European Natura 2000 network: Forecasting the distribution of the American bullfrog *Lithobates catesbeianus*. **Biological Conservation**, v. 245, p. 108551, 2020.

JUNK, W.J.; MELLO, N. Impactos ecológicos das represas hidroelétricas na Bacia Amazônica brasileira. **Tübinger Geographische Studien**, v. 95, p. 375-87, 1987.

KAESTNER, A. Invertebrate Zoology. III – Crustacea. In: Krieger, R. E. (ed.). Huntington, p. 52, 1980.

KALIONTZOPOULOU, A.; BRITO, J. C.; CARRETERO, M. A.; LARBES, S.; HARRIS, D. J. Modelling the partially unknown distribution of wall lizards (Podarcis) in North Africa: ecological affinities, potential areas of occurrence, and methodological constraints. **Canadian Journal of Zoology**, v. 86, n. 9, p. 992-1001, 2008.

KRAMER-SCHADT, S.; NIEDBALLA, J.; PILGRIM, J. D.; SCHRÖDER, B.; LINDENBORN, J.; REINFELDER, V.; WILTING, A. The importance of correcting for sampling bias in MaxEnt species distribution models. **Diversity and distributions**, v. 19, n. 11, p. 1366-1379, 2013.

- KUTTY, M.N.; HERMAN, F.; LE MENN, H. Culture of other prawn species: **Freshwater prawn culture: the farming of *Macrobrachium rosenbergii***, p. 393-410, 2000.
- LAL, M. M.; SEETO, J.; PICKERING, T. D.; HODGE, S. Salinity and temperature requirements for larviculture of the Monkey River prawn *Macrobrachium lar* (Fabricius, 1798) (Decapoda: Caridea: Palaemonidae). **Aquaculture**, v. 366, p. 1-8, 2012.
- LATINI A. O. et al. 2016. (Ed.) Espécies exóticas invasoras de águas continentais no Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- LEIDENBERGER, S.; OBST, M.; KULAWIK, R.; STELZER, K.; HEYER, K.; HARDISTY, A.; BOURLAT, S. J. Evaluating the potential of ecological niche modelling as a component in marine non-indigenous species risk assessments. **Marine pollution bulletin**, v. 97, n. 1-2, p. 470-487, 2015.
- LOO, S. E.; NALLY, R. M.; LAKE, P. S. Forecasting New Zealand mudsnail invasion range: model comparisons using native and invaded ranges. **Ecological Applications**, v. 17, n.1, p. 181-189.
- LOW, B. W.; ZENG, Y.; TAN, H. H.; YEO, D. C. Predictor complexity and feature selection affect MaxEnt model transferability: Evidence from global freshwater invasive species. **Diversity and Distributions**, v. 27, n. 3, p. 497-511, 2021.
- MACÊDO, R. S. D.; MARTINS, C. A. M.; NASCIMENTO, W. M.; PINHEIRO, A. P. Population structure and fecundity of *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1877) (Decapoda, Palaemonidae) on the Batateiras River, sub-basin of the Salgado River, in southern Ceará, Brazil. **Nauplius**, v. 29, 2021.
- MAGALHÃES, C. 2001. Diversity, distribution, and habitats of the macro-invertebrate fauna of the Río Paraguay and Río Apa, Paraguay, with emphasis on Decapod Crustaceans. A Biological Assessment of the Acuatric Ecosystems of the Río Paraguay Basin, Alto Paraguay, Paraguay. Conservation International. **RAP Bulletin of Biological Assessment**, Washington, v. 19, p. 68-72, 2001.

- MAGALHÃES, C.; WALKER, I. Larval development and ecological distribution of central Amazonian palaemonid shrimps (Decapoda, Caridea). **Crustaceana**, v. 55, n. 3, p. 279-292, 1988.
- MAGALHÃES, C. et al. Exotic species of freshwater decapod crustaceans in the state of São Paulo, Brazil: records and possible causes of their introduction. *Biodiversity & Conservation*, v. 14, n. 8, p. 1929-1945, 2005.
- MANCINELLI, G.; BARDELLI, R.; ZENETOS, A. A global occurrence database of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus*. **Scientific Data**, v. 8, n.1, p. 1-10, 2021.
- MCNAMARA J.C., FARIA S.C. Evolution of osmoregulatory patterns and gill ion transport mechanisms in the decapod Crustacea: a review. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 182, n. 2, p. 997-1014, 2012.
- MCNAMARA, J. C.; MOREIRA, P. S.; MOREIRA, G. S. The effect of salinity on the upper thermal limits of survival and metamorphosis during larval development in *Macrobrachium amazonicum* (Heller)(Decapoda, Palaemonidae). **Crustaceana**, v. 50, n. 3, p. 231-238, 1986.
- MELO, G. A. S. 2003. Manual de identificação dos Crustacea Decapoda de água doce do Brasil. Edições Loyola.
- MIGLIETTA, M. P.; LESSIOS, H. A. A silent invasion. **Biological Invasions**, v. 11, n. 4, p. 825-834, 2009.
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D.G. The PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 62, p. 1006–1012, 2009.
- MONTOYA, J. V. Freshwater shrimps of the genus *Macrobrachium* associated with roots of *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) in the Orinoco Delta (Venezuela). **Caribbean Journal of Science**, v. 39, n.1, p. 155-159, 2003.
- MORAES-VALENTI, Patrícia et al. Effect of density on population development in the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. **Aquatic Biology**, v. 9, n. 3, p. 291-301, 2010.

- MORAES-VALENTI P, VALENTI WC. Culture of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum*. In: New M.B, Valenti W.C, Tidwell J.H, D'Abramo LR, Kutty M.N (ed.) Freshwater prawns: biology and farming. Oxford, **Wiley-Blackwell**, p.485–501, 2010.
- NAIMI, B.; ARAUJO, M.B. “sdm”: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, v. 39, p. 368-375, 2016.
- NAIMI, B.; HAMM, N. A.; GROEN, T. A.; SKIDMORE, A. K.; TOXOPEUS, A. G. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling?. **Ecography**, v. 37, n. 2, p. 191-203, 2014.
- NAKANO, D.; STRAYER, D. L. Biofouling animals in fresh water: biology, impacts, and ecosystem engineering. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v .12, n.3, p. 167-175, 2014.
- ODINETZ COLLART, O. La pêche crevettière de *Macrobrachium amazonicum* (Palaemonidae) dans le Bas-Tocantins après fermeture du barrage de Tukurui (Brésil). 1987.
- ODINETZ COLLART, O. Stratégie de reproduction de *Macrobrachium amazonicum* en Amazonie Centrale (Decapoda, Caridea, Palaemonidae). **Crustaceana**, v. 61, n. 3, p. 253-270, 1991.
- ODINETZ COLLART, O.; RABELO, H. Variation in egg size of the fresh-water prawn *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda: Palaemonidae). **Journal of crustacean biology**, v. 16, n. 4, p. 684-688, 1996.
- PEREIRA S, G. A.; GARCIA, D. Larval development of *Macrobrachium reyesi* Pereira (Decapoda: Palaemonidae), with a discussion on the origin of abbreviated development in palaemonids. **Journal of Crustacean Biology**, v. 15, n.1, 117-133, 1995.
- PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J. Species distribution modeling and ecological niche modeling: Getting the concepts right. **Natureza Conservação**, v .10, n.2, p .102–107, 2012.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.

- ROCHA, C.P. Fecundidade e fertilidade do camarão-da-Amazônia, *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) em dois ambientes estuarinos do estado do Pará. 2010. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências Agrárias, Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal.
- SANTOS, L. C. F.; BELLI, N. M.; AUGUSTO, A.; MASUI, D. C.; LEONE, F. A.; MCNAMARA, J. C.; FURRIEL, R. P. M. Gill (Na⁺, K⁺) -ATPase in diadromous, freshwater palaemonid shrimps: species-specific kinetic characteristics and α -subunit expression. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 148, n. 1, p. 178-188, 2007.
- ShAFIQUE, A.; CAO, G.; KHAN, Z.; ASAD, M.; ASLAM, M. Deep learning-based change detection in remote sensing images: a review. **Remote Sensing**, v. 14, n. 4, p. 871, 2022.
- SILVA, J. C. Biologia e ecologia dos camarões de água doce *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) e *Macrobrachium jelskii* (Miers, 1778) (Crustacea: Caridea: Palaemonoidea) no Rio Grande, região de Planura. MG. 2010. 83 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2010.
- SOARES, M. R. D. S.; OSHIRO, L. M.; TOLEDO, J. C. Biologia reprodutiva de *Macrobrachium jelskii* (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) no Rio São Francisco, Minas Gerais, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 105, p. 307-315, 2015.
- SOBERÓN J., PETERSON T.A. Interpretation of Models of Fundamental Ecological Niches and Species' Distributional Areas. **Biodivers Inform** 2:1–10, 2005
- SOEIRO, R. K. S.; ROCHA, C. P.; MACIEL, M.; ABRUNHOSA, F. A.; MACIEL, C. R. Relationship between the coastal origin of the freshwater prawn *Macrobrachium amazonicum* and salinity levels in the hatchery. **B. Inst. Pesca**, p. 691-703, 2016.

- SYFERT, M. M.; SMITH, M. J.; COOMES, D. A. The effects of sampling bias and model complexity on the predictive performance of MaxEnt species distribution models. **PloS one**, v. 8, n. 2, p. e55158, 2013.
- TAKINO, M. LOBÃO, V. L., GOLUBEFF, T., & LOMBARDI, J. V. Relações entre fatores climáticos e abióticos e o período reprodutivo das populações de *Macrobrachium birai* e de *Macrobrachium petronioi* (Decapoda, Palaemonidae) do Rio Branco, Cananéia, São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**. 6(1):67-80. 1989.
- TORLONI, C. E. C.; SANTOS, J. J.; CARVALHO JR, A. A.; CORRÊA, A. R. A. A pescada-do-piauí *Plagioscion squamosissimus* (Heckel, 1840) (Osteichthyes, Perciformes), nos reservatórios da Companhia Energética de São Paulo - CESP. **Série Pesquisa e Desenvolvimento (CESP: São Paulo)**, v.84, p.1-23, 1993.
- VALENTI, W. C.; FRANCESCHINI-VICENTINI, I. B.; PEZZATO, L. E. The potential for *Macrobrachium amazonicum* culture. **World Aquaculture**, p.19-23, 2003.
- VEGA PEREZ, L. A. Desenvolvimento larval de *Macrobrachium heterochirus* (Wiegmann, 1836), *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) e *Macrobrachium brasiliense* (Deller, 1868) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae), em laboratório. 1984. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.
- VERA-SILVA, A. L.; CARVALHO, F. L.; MANTELATTO, F. L. Distribution and genetic differentiation of *Macrobrachium jelskii* (Natantia: Palaemonidae) in Brazil reveal evidence of non-natural introduction and cryptic allopatric speciation. **Journal of Crustacean Biology**, v. 36, n.3, p. 373-383, 2016.
- WEAR, R. G. Incubation in British decapod Crustacea, and the effects of the temperature on the rate and success of embryonic development. **Journal of the Marine Biological Association of the United kingdom**, v. 54, n. 3, p. 745-762, 1974.
- WEISS, R.; ANGER, K.; HAYD, L.; SCHUBART, C. D. Interpreting genetic distances for species recognition: the case of *Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862 and the recently described *M. pantanalense* Dos Santos, Hayd Anger, 2013

- (Decapoda, Palaemonidae) from Brazilian fresh waters. **Crustaceana**, v. 88, n. 10-11, p. 1111-1126, 2015.
- WEN, L.; SAINTILAN, N.; YANG, X.; HUNTER, S.; MAWER, D. MODIS NDVI based metrics improve habitat suitability modelling in fragmented patchy floodplains. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.1, p. 85-97, 2015.
- WESTERVELT, J. & SHAPIRO, M. (2022) GRASS GIS Manual. U.S. **Army Construction Engineering Research Laboratory**. - <https://grass.osgeo.org/grass78/manuals/r.class.html>>-
- WICKINS, J. F.; LEE, D.O.C. **Crustacean farming: ranching and culture**. John Wiley & Sons, 2008.
- YACKULIC, C. B.; CHANDLER, R.; ZIPKIN, E. F.; ROYLE, J. A.; NICHOLS, J. D.; CAMPBELL GRANT, E. H.; VERAN, S. Presence-only modelling using MaxEnt: when can we trust the inferences?. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 4, n. 3, p. 236-243, 2013.
- ZANDERS, I. P.; RODRÍGUEZ, JoséM. Effects of temperature and salinity stress on osmoionic regulation in adults and on oxygen consumption in larvae and adults of *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda, Palaemonidae). **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology**, v. 101, n. 3, p. 505-509, 1992.
- ZHANG, Z.; CAPINHA, C.; USIO, N.; WETERINGS, R.; LIU, X.; LI, Y.; YOKOTA, M. Impacts of climate change on the global potential distribution of two notorious invasive crayfishes. **Freshwater Biology**, v. 65, n. 3, p. 353-365, 2020a.
- ZHANG, Z.; MAMMOLA, S.; LIANG, Z.; CAPINHA, C.; WEI, Q.; WU, Y.; WANG, C. Future climate change will severely reduce habitat suitability of the Critically Endangered Chinese giant salamander. **Freshwater Biology**, v. 65, n. 5, p. 971-980, 2020b.

APÊNDICE A - Lista de artigos elegíveis após a revisão sistemática da literatura

ID	Autor	Ano	Título
1	Abuquerque et al.	2020	Toxic and essential trace element concentrations in the freshwater shrimp <i>Macrobrachium amazonicum</i> in the Lower Amazon, Brazil
2	Andrade et al.	2020	First record of <i>Telotha henselii</i> (Isopoda: Cymothoidae) on <i>Macrobrachium jelskii</i> (Decapoda: Palaemonidae) from Brazil
3	Anger & L. Hayd	2009	From lecithotrophy to planktotrophy: Ontogeny of larval feeding in the Amazon River prawn <i>Macrobrachium amazonicum</i>
4	Anger & L. Hayd	2010	Feeding and growth in early larval shrimp <i>Macrobrachium amazonicum</i> from the Pantanal, southwestern Brazil
5	Anger et al.	2009	Patterns of larval growth and chemical composition in the Amazon River prawn, <i>Macrobrachium amazonicum</i>
6	Augusto et al.	2014	Sex and reproductive stage differences in the growth, metabolism, feed, fecal production, excretion and energy budget of the Amazon River prawn (<i>Macrobrachium amazonicum</i>)
7	Augusto et al.	2020	Energy budget and physiology in early ontogenetic stages of the Amazon river prawn
8	Augusto et al.	2016	Are there any physiological differences between the male morphotypes of the freshwater shrimp <i>Macrobrachium amazonicum</i> (heller, 1862) (Caridea: Palaemonidae)?
9	Augusto et al.	2007	The ontogeny of isosmotic intracellular regulation in the diadromous, freshwater palaemonid shrimps, <i>Macrobrachium amazonicum</i> and <i>M. olfersi</i> (Decapoda)

- | | | | |
|----|----------------------|------|--|
| 10 | Aya-Baquero et al. | 2013 | Fecundity and fertility of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller 1862) (Decapoda, Palaemonidae) of Colombian Piedemonte Llanero |
| 11 | Barros-Alves et al. | 2012 | Population biology of shrimp <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1778) (Decapoda, Palaemonoidea) at the Grande River at northwest of the state of Minas Gerais, Brazil |
| 12 | Bastos et al. | 2018 | Effect of increase in temperature on the survival and growth of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Palaemonidae) in the Amazon |
| 13 | Bentes et al. | 2016 | Population dynamics of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) in a Brazilian Amazon estuary |
| 14 | Bentes et al. | 2014 | Experimental study on the efficiency of different types of traps and baits for harvesting <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) |
| 15 | Bentes et al. | 2011 | Spatial distribution of the amazon river prawn <i>Macrobrachium Amazonicum</i> (Heller, 1862) (Decapoda, Caridea, Palaemonidae) in two perennial creeks of an estuary on the northern coast of Brazil (Guajara Bay, Belem, Para) |
| 16 | Coler et al. | 1999 | A preliminary report on the application of <i>Macrobrachium amazonicum</i> Heller, 1862 (Decapoda: Palaemonidae) as a biomarker |
| 17 | Collins | 2002 | A new distribution record for <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) in Argentina (Decapoda, Palaemonidae) |
| 18 | Collins et al. | 2011 | Biogeography of the freshwater decapods in the la plata basin, South America |
| 19 | Costa e Silva et al. | 2019 | Population structure of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) in Miranda Hydroelectric Plant Reservoir, Araguari river, Minas Gerais, Brazil |
| 20 | Costa et al. | 2020 | <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Crustacea, Decapoda) Used to Biomonitor Mercury Contamination in Rivers |
| 21 | Costa et al. | 2016 | Selectivity of matapi used in catching <i>Macrobrachium amazonicum</i> in the lower Rio Tocantins, Amazon, Brazil |

- | | | | |
|----|-------------------|------|---|
| 22 | da Costa et al. | 2016 | Population structure of <i>Macrobrachium amazonicum</i> in two floodplain lakes of Amazonia |
| 23 | da Silva et al. | 2018 | Morphometric differences between two exotic invasive freshwater caridean species (genus <i>Macrobrachium</i>) |
| 24 | da Silva et al. | 2020 | Socioeconomics of fishermen from <i>Macrobrachium amazonicum</i> in Breves, Marajo archipelago, Brazil |
| 25 | da Silva et al. | 2009 | Gonadal structure analysis of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) from a wild population: a new insight into the morphotype characterization |
| 26 | da Silva et al. | 2004 | Fecundity and fertility of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Crustacea, Palaemonidae) |
| 27 | de Almeida et al. | 2008 | Decapod crustaceans in fresh waters of southeastern Bahia, Brazil |
| 28 | de Almeida et al. | 1997 | Feeding patterns in five predatory fishes of the high Paraná River floodplain (PR, Brazil) |
| 29 | de Sousa et al. | 2020 | Recycled creel: fishing trap model to minimize conflicts between otters and fishermen |
| 30 | Freire et al. | 2017 | Morphometric discrimination among three stocks of <i>Macrobrachium amazonicum</i> in the Brazilian Amazon |
| 31 | Freire et al. | 2012 | Growth and stock assessment of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Decapoda: Palaemonidae) in an estuary of Northeast Pará, Brasil |
| 32 | Guerra & Lima | 2014 | Genetic variability and phylogenetic aspects in species of the genus <i>Macrobrachium</i> |
| 33 | Guerra & Lima | 2010 | Genetic polymorphism, molecular characterization and relatedness of <i>Macrobrachium</i> species (Palaemonidae) based on RAPD-PCR |

- | | | | |
|----|----------------------|------|--|
| 34 | Hayd & Anger | 2013 | Reproductive and morphometric traits of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Decapoda: Palaemonidae) from the Pantanal, Brazil, suggests initial speciation |
| 35 | Hayd et al. | 2017 | Growth, elemental and proximate biochemical composition of larval Amazon River prawn, <i>Macrobrachium amazonicum</i> , reared under different salinity conditions |
| 36 | Henry-Silva et al. | 2010 | Limnological characteristics of the water column and effluents of Amazon river prawn ponds |
| 37 | Henry-Silva et al. | 2015 | Integrated multi-trophic culture of Nile tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>) and Amazon river prawn (<i>Macrobrachium amazonicum</i>) in brackish water |
| 38 | Keppeler et al. | 2012 | Temporal variation in the water quality of ponds and effluent of grow-out ponds of Amazon River prawn <i>Macrobrachium amazonicum</i> |
| 39 | Lianos et al. | 2018 | Checklist of the species of <i>Macrobrachium</i> Spence Bate, 1868 (Decapoda: Caridea: Palaemonidae) from the lower Parnaíba River basin, Piauí, Brazil |
| 40 | Lima et al. | 2013 | Characterization of esterase patterns in hepatopancreas of three species of <i>Macrobrachium</i> (Palaemonidae) |
| 41 | Lima et al. | 2014 | Reproductive aspects of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Decapoda: Palaemonidae) in the State of Amapá, Amazon River mouth |
| 42 | Lima et al. | 2013 | Characterization of esterase patterns in hepatopancreas of three species of <i>Macrobrachium</i> (Palaemonidae) |
| 43 | Lucena et al. | 2020 | Ecological responses of two shrimp populations (Palaemonidae) to seasonal abiotic factor variations in a Brazilian semiarid reservoir |
| 44 | Lucena-Fredou et al. | 2010 | Population dynamics of the river prawn, <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) (Decapoda, Palaemonidae) on Combu Island (Amazon estuary) |
| 45 | Luz-Agostinho et al. | 2008 | Influence of flood pulses on diet composition and trophic relationships among piscivorous fish in the upper Parana River floodplain |

46	Maciel et al.	2012	The predation of <i>Artemia nauplii</i> by the Larvae of the Amazon river prawn, <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862), is affected by prey density, time of day, and ontogenetic development
47	Maciel et al.	2011	Occurrence of the indo-pacific freshwater prawn <i>Macrobrachium equidens</i> dana 1852 (Decapoda, Palaemonidae) on the coast of Brazilian Amazonia, with notes on its reproductive biology
48	Marques et al.	2012	Influence of stocking densities in the nursery phase on the growth of <i>Macrobrachium amazonicum</i> reared in net pens
49	Mazzarelli et al.	2015	Effect of salinity on the metabolism and osmoregulation of selected ontogenetic stages of an amazon population of <i>Macrobrachium amazonicum</i> shrimp (Decapoda, Palaemonidae)
50	Meireles et al.	2013	Reproductive variability of the amazon river prawn, <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Caridea, palaemonidae): Influence of life cycle on egg production
51	Miranda et al.	2020	Reproductive aspects of the prawn <i>Macrobrachium amazonicum</i> in a continental population living downstream of a hydroelectric dam
52	Moraes et al.	2020	Shape variation of the prawn <i>Macrobrachium jelskii</i> (Palaemonidae: Decapoda) in the Neotropical semiarid drainages: an intra- and inter-basin investigation
53	Moraes-Valenti &Valenti	2007	Effect of intensification on grow out of the Amazon River prawn, <i>Macrobrachium amazonicum</i>
54	Moraes-Valenti et al.	2010	Effect of density on population development in the Amazon River prawn <i>Macrobrachium amazonicum</i>
55	Mossolin et al.	2013	Population and reproductive features of the freshwater shrimp <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) from São Paulo State, Brazil
56	Nascimento et al.	2020	Sexual size dimorphism of the freshwater shrimp <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) (Decapoda: Palaemonidae) and its relationship to Rensch's rule
57	Nobrega et al.	2013	Composition of shrimp populations (Crustacea: Decapoda) in non- vegetated areas of two river islands in a Brazilian Amazon estuary

- | | | | |
|----|---------------------------|------|--|
| 58 | Nogueira et al. | 2020 | Hybridisation experiments between freshwater prawns <i>Macrobrachium amazonicum</i> and <i>M. pantanalense</i> (Decapoda: Palaemonidae), and the effects of geographical isolation |
| 59 | Nogueira et al. | 2020 | Reproductive traits of the freshwater prawn <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Decapoda: Palaemonidae) in an isolated water reservoir |
| 60 | Odinetz-Collart | 1991 | Tucurui dam and the populations of the prawn <i>Macrobrachium amazonicum</i> in the lower Tocantins (PA - Brazil) - a 4 year study |
| 61 | Odinetz-Collart et al | 1993 | Fishery potential of <i>Macrobrachium-amazonicum</i> in central Amazonia (Careiro Island) - abundance and size variation |
| 62 | Paiva Barros-Alves et al. | 2012 | Population biology of shrimp <i>Macrobrachium jelskii</i> (miers, 1778) (Decapoda, Palaemonoidea) at the Grande River at northwest of the State of Minas Gerais, Brazil |
| 63 | Pantaleão et al. | 2014 | Ocurrence of male morphotypes of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Caridea, Palaemonidae) in a population with an entirely freshwater life cycle |
| 64 | Pantaleão et al. | 2012 | Relative growth, morphological sexual maturity, and size of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (heller 1862) (crustacea, decapoda, palaemonidae) in a population with an entirely freshwater life cycle |
| 65 | Parhi et al. | 2008 | Molecular phylogeny of freshwater prawn (Genus: <i>Macrobrachium</i>) species based on mtDNA 16S rRNA gene sequencing |
| 66 | Parreira Castro et al. | 2016 | Land use influences niche size and the assimilation of resources by benthic macroinvertebrates in tropical headwater streams |
| 67 | Paschoal et al. | 2019 | Reproductive biology of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) populations with distinct phenotypes in Neotropical reservoirs during the El Nino' event" |
| 68 | Pettovello | 1996 | First record of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Decapoda, Palaemonidae) in Argentina |
| 69 | Pileggi et al. | 2013 | New records and extension of the known distribution of some freshwater shrimps in Brazil |

- | | | | |
|----|---------------------|------|--|
| 70 | Quaresma et al. | 2019 | Prawn larvae of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Decapoda, Palaemonidae) in contaminated oligohaline creeks on the Amazon estuary |
| 71 | Ramires et al. | 1998 | Effect of habitat type on benthic macroinvertebrates in two lowland tropical streams, Costa Rica |
| 72 | Ramírez et al. | 2010 | Biochemical composition of the freshwater shrimp <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) under culture conditions |
| 73 | Rocha & Barbosa | 2017 | Population biology of <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) (Decapoda, Palaemonidae) from an artificial pond in Bahia, Brazil |
| 74 | Rodrigues et al. | 2020 | Do hydroelectric dams affect the abundance and population structure of freshwater shrimps? |
| 75 | Sampaio et al. | 2007 | Reproductive cycle of <i>Macrobrachium amazonicum</i> females (Crustacea, Palaemonidae) |
| 76 | Santos | 2021 | Influência do ambiente sobre a estrutura populacional de <i>Macrobrachium amazonicum</i> |
| 77 | Santos et al. | 2021 | An update of the amazon prawn (<i>Macrobrachium amazonicum</i>) distribution in the low course of the São Francisco River |
| 78 | Santos et al. | 2016 | Effect of Habitat Diversity on Population Development of the Amazon River Prawn |
| 79 | Silva et al. | 2019 | Microhabitat preferences of the freshwater prawn <i>Macrobrachium jelskii</i> (Decapoda: Palaemonidae) |
| 80 | Silva et al. | 2020 | Has a river dam affected the life-history traits of a freshwater prawn? |
| 81 | Silva-Junior et al. | 2017 | Reproductive biology of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) (Decapoda: Palaemonidae) in a reservoir situated in Minas Gerais State, southeastern Brazil |

- | | | | |
|----|---------------------|------|---|
| 82 | Silva-Junior et al. | 2017 | Distribution and abundance of freshwater decapods in an Atlantic rainforest catchment with a dammed future |
| 83 | Soares et al | 2015 | Reproductive biology of the shrimp <i>Macrobrachium jelskii</i> (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) in Sao Francisco River, Minas Gerais, Brazil |
| 84 | Soares et al | 2020 | Effects of pH and nitrites on the toxicity of a cypermethrin-based pesticide to shrimps |
| 85 | Taddei et al. | 2017 | Length/weight relationship and condition factor of <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) and <i>M-brasiliense</i> (Heller, 1862) (Decapoda, Palaemonidae) in two locations in the state of Sao Paulo |
| 86 | Taddei et al. | 2017 | Population structure, mortality, and recruitment of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Heller, 1862) (Caridea: Palaemonidae) in the eastern Amazon region, Brazil |
| 87 | Urbano et al. | 2010 | Growth of freshwater shrimp <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877), in ponds |
| 88 | Urzua & Anger | 2011 | Larval biomass and chemical composition at hatching in two geographically isolated clades of the shrimp <i>Macrobrachium amazonicum</i> : intra- or interspecific variation? |
| 89 | Valencia & Campos | 2010 | Freshwater shrimps of the colombian tributaries of the Amazon and Orinoco Rivers (Palaemonidae, Euryrhynchidae, Sergestidae) |
| 90 | Vásquez & Bocanegra | 2019 | Ecological aspects of decapods from Guayuriba river (Meta, Colombia) |
| 91 | Ventura et al. | 2019 | Ovarian development and spawning of <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Crustacea, Decapoda) |
| 92 | Vera-Silva et al. | 2016 | Distribution and genetic differentiation of <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) (Natantia: Palaemonidae) in Brazil reveal evidence of non-natural introduction and cryptic allopatric speciation |
| 93 | Vera-Silva et al. | 2017 | Redescription of the freshwater shrimp <i>ii</i> (Miers, 1877) (Caridea, Palaemonidae) |

- | | | | |
|----|-----------------------|------|--|
| 94 | Vergamini et al. | 2010 | Genetic variability of the Amazon River prawn <i>Macrobrachium amazonicum</i> (Decapoda, Caridea, Palaemonidae) |
| 95 | Walker | 1992 | Life-history traits of shrimps (decapoda, palaemonidae) of amazonian inland waters and their phylogenetic interpretation |
| 96 | Weiss et al. | 2015 | Interpreting genetic distances for species recognition: The case of <i>Macrobrachium amazonicum</i> Heller, 1862 from Brazilian fresh waters |
| 97 | Williner & P. Collins | 2002 | Spatial and temporal variation in the activity of freshwater prawn <i>Macrobrachium jelskii</i> (Miers, 1877) (Crustacea, Decapoda, Caridea, Palaemonidae) |
| 98 | Yoshida & Uieda | 2014 | The importance of a Biosphere Reserve of Atlantic Forest for the conservation of stream fauna |
-