

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**  
**DA NATUREZA**

**Matheus Ávinner Afonso de Oliveira**

**Predição da distribuição potencial da espécie introduzida *Chrysomya albiceps* (Diptera:  
Calliphoridae) na América do Sul**

Juiz de Fora

2024

**Matheus Ávinner Afonso de Oliveira**

**Predição da distribuição potencial da espécie introduzida *Chrysomya albiceps* (Diptera:  
Calliphoridae) na América do Sul**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação da Natureza. Área de concentração: Ecologia e Conservação da Natureza

Orientador: Prof. Dr. Ralph Maturano Pinheiro

Coorientadora: Dra. Ximena Maria Constanza Ovando

Juiz de Fora

2024

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

Oliveira, Matheus Ávinner Afonso de.

Predição da distribuição potencial da espécie introduzida *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae) na América do Sul / Matheus Ávinner Afonso de Oliveira. -- 2024.

50 p. : il.

Orientador: Ralph Maturano Pinheiro

Coorientadora: Ximena Maria Constanza Ovando

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, 2024.

1. Mosca-varejeira. 2. Modelagem preditiva. 3. Espécie exótica. 4. MaxEnt. I. Pinheiro, Ralph Maturano, orient. II. Ovando, Ximena Maria Constanza, coorient. III. Título.

MATHEUS ÁVINNER AFONSO DE OLIVEIRA

**Predição da distribuição potencial da espécie introduzida *Chrysomya albiceps* (Diptera:  
Calliphoridae) na América do Sul**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação da Natureza. Área de concentração: Comportamento, Ecologia e Sistemática

Aprovado em 23 de setembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

**Prof. Dr. Ralph Maturano Pinheiro** - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

**Prof. Dra. Ximena María Constanza Ovando** - Coorientadora

Autônoma

**Prof. Dr. Fábio Prezoto**

Universidade Federal de Juiz de Fora

**Prof. Dr. Vinícius Neres de Lima**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Juiz de Fora, 16/08/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Ralph Maturano Pinheiro, Professor(a)**, em 23/09/2024, às 16:30, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Prezoto, Professor(a)**, em 23/09/2024, às 16:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vinicius Neres de Lima, Usuário Externo**, em 23/09/2024, às 21:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ximena Maria Constanza Ovando, Usuário Externo**, em 24/09/2024, às 14:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1929129** e o código CRC **78F04640**.

---

Dedico este trabalho à minha família, com especial reconhecimento à minha esposa e ao meu filho, cuja demonstração de amor incondicional foi uma fonte constante de motivação.

## **AGRADECIMENTOS**

Expresso minha mais profunda gratidão a Deus, que me proporcionou força, sabedoria e proteção durante toda a jornada deste trabalho. Sem essa orientação, superar os desafios e alcançar os objetivos deste projeto teria sido muito mais difícil.

Agradeço, com igual intensidade, à minha família, que me ofereceu apoio incondicional, compreensão e paciência ao longo deste percurso. O suporte emocional que recebi foi fundamental para que eu pudesse me dedicar plenamente à pesquisa, sabendo que contava com uma base sólida e amorosa.

Minha sincera gratidão também vai para os meus orientadores, cujas orientações precisas e incentivo constante foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho. Aos colaboradores que contribuíram direta ou indiretamente, agradeço pelo compartilhamento de conhecimentos e pelo compromisso em busca da excelência científica.

Por fim, reconheço e valorizo o suporte institucional oferecido pelo Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza da Universidade Federal de Juiz de Fora. A estrutura e os recursos proporcionados foram determinantes para a condução desta pesquisa, e o ambiente acadêmico de qualidade certamente contribuiu para meu crescimento intelectual e profissional.

## RESUMO

O gênero *Chrysomya* (Robineau-Desvoidy, 1830) inclui as “moscas-varejeiras”, dípteros ligados à transmissão de agentes infecciosos e causadores de miíases secundárias com importância na saúde humana e animal. Neste gênero, destaca-se *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819), espécie exótica que chegou à América do Sul no final dos anos 70 pelo Brasil e se espalhou rapidamente pelo continente, onde há registros confirmados em 12 países. O presente trabalho visou analisar, por meio da modelagem de nicho ecológico, as regiões potencialmente susceptíveis da América do Sul à invasão de *C. albiceps*, assim como identificar os principais preditores ambientais que poderiam explicar a presença da espécie. Inicialmente foram consideradas 25 camadas bioclimáticas, pedológica (*Land cover, soil types, soil ph* e *soil silt*) e antrópica (*population density*), tanto para a área nativa (África) quanto para a área de estudo. Os registros de ocorrência foram extraídos de diferentes bases de dados totalizando 1.013 pontos únicos com coordenadas geográficas. Utilizando o programa Maxent foram gerados 348.720 modelos candidatos, sendo selecionados dois deles estatisticamente significativos e que atenderam aos critérios de escolha (taxa de omissão e o critério de informação de Akaike corrigido para tamanhos de amostra pequenas (AICc)), além de apresentarem valores de AUC muito bons (0,878 e 0,930). A variável de *potential evapotranspiration* (PET) foi a de maior porcentagem de contribuição nos dois modelos selecionados, seguida da *population density*, e juntas contribuíram para a explicação de mais de 60% do modelo. A projeção dos modelos resultantes na América do Sul revelou regiões de alta adequabilidade no território argentino e regiões costeiras do continente. Devido à alta tolerância de *C. albiceps* a amplitudes térmicas, umidade e elevação, os resultados revelam áreas de adequabilidade em diversos climas e altitudes pelo continente. A análise da MOP revelou riscos de extrapolação ao identificar áreas no sul do continente como adequadas para *C. albiceps*, a adaptabilidade da espécie e seu rápido ciclo evolutivo sugerem que ela pode ainda assim se expandir nessas regiões, apesar das condições não serem totalmente equivalentes à sua área nativa. Os resultados coincidem com a distribuição de *C. albiceps* e indicam que a espécie pode ter se adaptado às condições bióticas e abióticas do novo continente, demonstrando sua plasticidade ecológica. Contudo ressaltam a necessidade de novas pesquisas sobre as interações bióticas e os impactos de sua presença em diferentes regiões e na saúde pública.

**Palavras-chave:** mosca-varejeira, modelagem preditiva, espécie exótica, MaxEnt.



## ABSTRACT

*Chrysomya* (Robineau-Desvoidy, 1830) is a genus of Diptera that includes the "blowflies," dipterans associated with the transmission of infectious agents, causes secondary myiasis, and they have medical-veterinary importance due to affect the human and animal health. Among the species of this genus, *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819) is an exotic and invasive species present in South America, recorded for the first time in Brazil in the late 1970s. This species quickly spread across almost part of the continent, with confirmed records in 12 south American countries. The aim of the present study was to analyze, through ecological niche modeling, the potential areas of South America susceptible to the invasion of *C. albiceps*, as well as to identify the main environmental predictors that help explain the presence of the species in the subcontinent. Initially, 25 climatic, pedological, and anthropogenic variables were considered, both the native area (Africa) and the study area. Occurrence records were obtained from different databases, resulting in a total of 1,013 unique records with geographic coordinates. The candidate models (for the native area) were generated during the calibration process using the Maxent algorithm, and two final models were selected that met the selection criteria and presented very good AUC values and two final models were considered based on AUC values (0.878 and 0.930). The variable of potential evapotranspiration (PET) was the main contributor in the models, followed by the population density variable. Both variables together contributed to more than 60% of the model explanation for each model. The projection of the final models in South America showed areas of higher suitability in Argentina and almost coastal areas of the continent (mainly Brazil). Since *C. albiceps* is considered as a species highly tolerant to temperature, humidity, and elevation ranges, the results showed suitability areas with different types of climates and altitudes ranges. On the other hand, the mobility-oriented parity analysis (MOP) showed an extrapolation risk in the large area in Southern South America as suitable for *C. albiceps*, the species' adaptability and rapid evolutionary cycle suggest that it may still proliferate in these regions, despite the conditions not being entirely equivalent to its native range. The results align with the distribution of *C. albiceps* and indicate that the species may have adapted to the biotic and abiotic conditions of the new continent, demonstrating its ecological plasticity. However, they highlight the need for further research on biotic interactions, the impacts of its presence in different regions and on public health.

**Keywords:** blowfly, predictive modeling, exotic species, MaxEnt.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Fluxograma dos processos de modelagem.....	25
Figura 2	– Registros de ocorrência de <i>Chrysomya albiceps</i> em sua área nativa e na América do Sul.....	26
Figura 3	– Curvas de resposta das variáveis que contribuíram para a construção do modelo.....	31
Figura 4	– Curvas de resposta das variáveis que contribuíram para a construção do modelo.....	32
Figura 5	– Projeção das áreas de adequabilidade na área invadida e nativa (A: Modelo 1 e B: Modelo 2).....	34
Figura 6	– Mapa da projeção da fusão dos Modelos 1 e 2 na América do Sul.....	36
Figura 7	– Resultados da análise da MOP para ambos modelos nas áreas projetadas (A e D apresentam as regiões onde as condições ambientais são mais similares com a área nativa; B e E mostra o gradiente de similaridade entre a área nativa e projetada; C e F mostra quais variáveis ambientais e as regiões que apresentaram os maiores valores de similaridade com a área treinada).....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Descrição das 25 camadas ambientais utilizadas inicialmente no estudo.....	22
Tabela 2	–	Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis do estudo.....	28
Tabela 3	–	Configurações e desempenho dos modelos finais. RM (multiplicador de regularização), FC (características de classes, l: linear, q: quadrático, p: produto e t: limite), pROC (ROC parcial), taxa de omissão e AICc.....	29
Tabela 4	–	Contribuição das variáveis bioclimáticas nos dois modelos finais. (ver detalhamento das variáveis na tabela 1).....	30

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PET Potential Evapotranspiration (Evapotranspiração potencial)

MOP Mobility-oriented Parity (Mobilidade orientada a paridade)

mm/ano Milímetros por ano

h/km<sup>2</sup> Habitantes por quilômetro quadrado

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO ÚNICO: PREDIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE INTRODUZIDA <i>CHRYSOMYA ALBICEPS</i> (DIPTERA: CALLIPHORIDAE) NA AMÉRICA DO SUL.....</b>	<b>19</b>
2.1	INTRODUÇÃO.....	19
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
2.2.1	OBTENÇÃO DOS DADOS DE OCORRÊNCIA.....	21
2.2.2	DEFINIÇÃO DA ÁREA NATIVA.....	21
2.2.3	VARIÁVEIS AMBIENTAIS .....	22
2.2.4	CALIBRAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS MODELOS .....	23
2.2.5	PROJEÇÃO E CRIAÇÃO DOS MODELOS FINAIS .....	24
2.3	RESULTADOS .....	26
2.4	DISCUSSÃO .....	38
2.5	CONCLUSÃO .....	44
	REFERÊNCIAS .....	45

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A dispersão acidental de espécies exóticas é um fenômeno amplamente documentado na história da humanidade, refletindo a complexa interação entre as atividades humanas e o meio ambiente (SANU; NEWPORT, 2010). Os deslocamentos humanos, sejam terrestres, marítimos ou aéreos, têm sido responsáveis pela movimentação de uma variedade de organismos, incluindo insetos, ácaros e carrapatos, para regiões previamente isoladas (SANU; NEWPORT, 2010; TATEM, 2009). Este processo de dispersão tem implicações significativas para a saúde pública, a biodiversidade e o equilíbrio ecológico dos ecossistemas (HETTINGER, 2001; WOODS, 2001).

A caracterização das espécies como invasoras ou introduzidas é fundamental para entender seus impactos sobre os ecossistemas nativos. Sendo que espécies introduzidas, quando possuem capacidade de se adaptar ao novo ambiente, tem grande potencial de se tornarem invasoras (HETTINGER, 2001; WOODS, 2001). Com isso, podem causar modificações significativas nos ecossistemas, afetando as interações entre espécies e alterando a estrutura e função dos habitats (WILLIAMSON, 1996). Algumas espécies de moscas-varejeiras do gênero *Chrysomya* (Robineau-Desvoidy, 1830) ilustram esses efeitos diversos. Por um lado, essas moscas contribuem para a decomposição da matéria orgânica, desempenhando um papel importante no ciclo de nutrientes e na manutenção da saúde dos ecossistemas (OLIVEIRA-COSTA, 2011). Por outro lado, elas podem atuar como vetores de doenças, transmitir parasitas e competir com espécies nativas por recursos, o que pode levar a desequilíbrios ecológicos e impactos adversos sobre a biodiversidade local (ALMEIDA et al., 2019; CADAVID-SANCHEZ et al., 2015).

O gênero *Chrysomya*, pertencente à família Calliphoridae (Diptera), possui distribuição nativa em regiões da África, Ásia e Oceania (JAMES, 1947; ZUMPT, 1965). Estas moscas são relacionadas como causadoras de miíases em animais e humanos, apresentando hábitos saprófagos em suas fases larvais (OLIVEIRA-COSTA, 2011; ZUMPT, 1965). Por conta de suas especificidades biológicas, estas moscas têm recebido atenção considerável devido à sua importância forense (OLIVEIRA-COSTA, 2011). O estudo desses insetos é essencial para diversas áreas, como a entomologia forense, a ecologia e a biologia da conservação (GREENBERG; SZYSKA, 1984). O gênero *Chrysomya* inclui 12 espécies (*C. albiceps* (

Wiedemann, 1819), *C. bezziana* (Villeneuve, 1914), *C. chloropyga* (Wiedemann, 1818), *C. fulvicruris* (Robineau-Desvoidy, 1830), *C. inclinata* (Walker, 1861), *C. marginalis* (Wiedemann, 1830), *C. megacephala* (Fabricius, 1794), *C. obscura* (Bigot, 1891), *C. pinguis* (Walker, 1858), *C. putoria* (Wiedemann, 1830), *C. rufifacies* (Macquart, 1843) e *C. villeneuvi* (Patton, 1922)) que desempenham papéis ecológicos variados e, como resultado, têm impactos distintos sobre os ecossistemas nos quais são introduzidas.

A espécie *Chrysomya albiceps* foi uma das pioneiras na colonização do continente sul-americano e é encontrada em quase toda a América do Sul, com uma distribuição que abrange principalmente áreas de savana e cerrado (DEAR, 1985; MARILUIS et al., 2003). Quando adultos, apresentam coloração metálica verde-azul, medindo aproximadamente 10 mm de comprimento. Em suas fases imaturas apresentam estrutura corporal vermiforme com espinhos ao longo de seus segmentos. Quando compartilham um mesmo substrato com outras espécies, as larvas podem apresentar ações predatórias (CARVALHO; MELLO-PATIU, 2008; LAURENCE, 1981; WELLS; GREEMBERG, 1992). A intensa competição evidenciada por *C. albiceps* é um aspecto importante para a compreensão de sua ecologia e de seu potencial para se tornar invasora em novas áreas.

A modelagem de nicho ecológico (MNE) é uma ferramenta crucial para investigar a ecologia e a distribuição potencial de espécies invasoras (PETERSON, 2003). Dentre os métodos disponíveis, o algoritmo do Maxent destaca-se por sua capacidade de gerar modelos preditivos robustos baseados no princípio da máxima entropia (PHILLIPS et al., 2006). Esse algoritmo integra variáveis ambientais com dados de ocorrência de espécies para elaborar mapas que identificam áreas de potencial adequabilidade e distribuição (PHILLIPS et al., 2006). Maxent é amplamente reconhecido como um dos métodos mais eficazes para modelagem preditiva de distribuição, especialmente em cenários onde apenas dados de presença estão disponíveis (ELITH et al., 2006; WISZ et al., 2008). A eficácia do Maxent reside em sua complexidade analítica e na capacidade de aprendizado de máquina, que permite ao modelo se adaptar às condições específicas do problema investigado (PHILLIPS et al., 2006). Além disso, a aplicação do Maxent possibilita a simulação de cenários futuros, auxiliando na previsão de como mudanças climáticas e outros fatores podem influenciar a expansão de espécies invasoras (ELITH & LEATHWICK, 2009; PETERSON et al., 2011).

O uso do Maxent tem sido documentado em diversos estudos relacionados a espécies potencialmente invasoras. Por exemplo, Giovanelli et al. (2007) exploraram o impacto da

introdução da rã-touro (*Lithobates catesbeianus*) na fauna nativa, destacando os efeitos adversos resultantes da prática de aquicultura. Lee et al. (2021) avaliaram a distribuição futura da formiga-lava-pés (*Solenopsis geminata*), uma espécie invasora nativa da América do Sul que causa danos significativos à agricultura, em diversos cenários de mudanças climáticas. Araújo et al. (2022) investigaram a potencial distribuição de *Striga asiatica*, uma planta hemiparasita que afeta a produção de cereais e gera perdas econômicas consideráveis. Estes estudos ilustram como o Maxent pode ser utilizado para prever e entender a distribuição de espécies invasoras em diferentes contextos ambientais e climáticos.

A análise de *Chrysomya albiceps* através da modelagem de nicho ecológico pode fornecer informações valiosas sobre sua distribuição potencial e os impactos associados à sua introdução em novas áreas. O conhecimento gerado por esses modelos pode auxiliar na formulação de estratégias de manejo e controle para minimizar os impactos adversos e promover a conservação da biodiversidade. Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho foi realizar a MNE da espécie *C. albiceps* no continente sul-americano. Além disso, como objetivos específicos, buscou-se identificar áreas adequadas e passíveis de invasão para a espécie no continente, como também identificar características ambientais que promovem o estabelecimento de *C. albiceps* nestas regiões.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T. C. DE; VASCONCELOS, S. D.; THYSSEN, P. J. Ecology and behavior of *Chrysomya albiceps* and *C. putoria* (Diptera: Calliphoridae) in Brazil: A review. *Acta Tropica*, 193, 137-145, 2019.
- ARAÚJO, F. H. V.; DA SILVA, A. F.; RAMOS, R. S.; FERREIRA, S. R.; DOS SANTOS, J. B.; DA SILVA, R. S.; SHABANI, F. Modelling climate suitability for *Striga asiatica*, a potential invasive weed of cereal crops. *Crop Protection*, 2022.
- CADAVID-SANCHEZ, I. C.; AMAT, E.; GOMEZ-PIÑEREZ, L. M. Enterobacteria isolated from synanthropic flies (Diptera, Calyptratae) in Medellín, Colombia. *Caldasia*, v. 37, n. 2, p. 319-332, 2015.
- CARVALHO, C. J. B.; MELLO-PATIU, C. A. Key to the adults of the most common forensic species of Diptera in South America. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 52, p. 390-406, 2008.
- DEAR, J. P. A revision of the new world Chrysomyini (Diptera: Calliphoridae). *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 3, p. 109-169, 1985.



ELITH, J.; H. GRAHAM, C.; P. ANDERSON, R.; et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, 29(2), 129-151, 2006.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. **Annual review of ecology, evolution, and systematics**, v. 40, n. 1, p. 677-697, 2009.

GIOVANELLI, J. G. R.; HADDAD, C. F. B.; ALEXANDRINO, J. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. *Biological Invasions*, v. 10, n. 5, p. 585-590, 2007.

GREENBERG, B.; SZYSKA, M. L. Immature stages and biology of fifteen species of Peruvian Calliphoridae (Diptera). *Annals of the Entomological Society of America*, v. 77, n. 5, p. 488-517, 1984.

HETTINGER, N. Exotic species, naturalisation, and biological nativism. *Environmental values*, v. 10, n. 2, p. 193-224, 2001.

JAMES, M. T. The flies that cause myiasis in man. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., 175 p., 1947.

LAURENCE, B. R. Geographical expansion of the range of *Chrysomya* blowflies. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 75, n. 1, p. 130-131, 1981.

LEE, C. M.; LEE, D. S.; KWON, T. S.; ATHAR, M.; PARK, Y. S. Predicting the global distribution of *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae) under climate change using the MaxEnt model. *Insects*, v. 12, n. 3, p. 229, 2021.

MARILUIS, J. C.; SCHNACK, J. A.; MULIERI, P. R. The blowflies (Diptera: Calliphoridae) of the southern South America. Keys for the identification of adult flies and data on the ecology, distribution and bionomics. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 62(1-2), 31-64. 2003

OLIVEIRA-COSTA, J. Entomologia forense: quando os insetos são vestígios. 3. ed. Campinas, São Paulo (Brasil): Millennium Editora, 2011. ISBN: 978-85-7625-227-6.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology*, v. 78, n. 4, p. 419-433, 2003.

PETERSON, A. T.; SOBERÓN, J.; PEARSON, R. G.; et al. Ecological niches and geographic distributions (MPB-49). In *Ecological niches and geographic distributions (MPB-49)*. Princeton University Press, 2011

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.

SANU, P.; NEWPORT, J. K. Invasive alien species dispersal: the millennium biodiversity disaster. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, v. 19, n. 3, p. 291-297, 2010.

TATEM, A. J. The worldwide airline network and the dispersal of exotic species: 2007–2010. *Ecography*, v. 32, n. 1, p. 94-102, 2009.

WELLS, J. D.; GREENBERG, B. Interaction between *Chrysomya rufifacies* and *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae): the possible consequences of an invasion. *Bulletin of Entomological Research*, v. 82, n. 1, p. 133-137, 1992.

WILLIAMSON, M. *Biological invasions*. Springer Science & Business Media, 1996.

WISZ, M. S.; HIJMANS, R. J.; LI, J.; PETERSON, A. T.; et al. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and distributions*, 14(5), 763-773, 2008.

WOODS, M.; MORIARTY, P. V. Strangers in a strange land: the problem of exotic species. *Environmental values*, v. 10, n. 2, p. 163-191, 2001.

ZUMPT, F. *Myiasis in man and animals in the Old World*. Butterworths, London (EN), 1965.

## 2 CAPÍTULO ÚNICO: PREDIÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE INTRODUZIDA *CHRYSOMYA ALBICEPS* (DIPTERA: CALLIPHORIDAE) NA AMÉRICA DO SUL

### 2.1 INTRODUÇÃO

*Chrysomya* (Robineau-Desvoidy, 1830) é um dos gêneros de dípteros comumente conhecidos como “moscas-varejeiras” dentro da família Calliphoridae (Diptera). Este grupo exerce papel ecológico atuando como vetores mecânicos de bactérias e parasitos entéricos, especialmente em regiões com condições sanitárias precárias (CADAVID-SANCHEZ et al., 2015; FURLANETTO et al., 1984). Por seus estágios imaturos desenvolverem-se em matéria orgânica em decomposição, como fezes e carcaças, sejam eles de humanos ou outros animais, esses insetos têm importância na ecologia, epidemiologia e entomologia médico-forense (BADENHORST; VILLET, 2018).

Nativas das regiões tropicais e subtropicais, as espécies do gênero *Chrysomya* possuem distribuição original em áreas disjuntas das regiões da Australásia, partes do Paleártico e Afrotropical (GAGNÉ, 1981; JAMES, 1947; ZUMPT, 1965). Na região Neotropical, registros indicam que houve provável chegada dessas espécies na costa brasileira no final da década de 1970, seguida por uma rápida disseminação por todo continente (GUIMARÃES et al., 1979; IMBIRIBA et al., 1977). Este gênero contém moscas que se destacam pela capacidade de dispersão devido ao alto potencial reprodutivo, rápido desenvolvimento e habilidade de voo, capaz de se deslocar por até 3,2 km por dia (BAUMGARTNER; GREENBERG, 1984; COUTINHO et al., 2012).

Das 12 espécies que compõem o gênero, *Chrysomya albiceps* (Wiedemann, 1819) é considerada como uma das pioneiras na colonização das Américas (DEAR, 1985; GAGNÉ, 1981). Com distribuição original na África, Europa e Oriente Médio (JAMES, 1947; ZUMPT, 1965), os adultos desta espécie são facilmente reconhecíveis pela coloração metálica e adaptação a ambientes sinantrópicos, onde podem atuar como parasitos facultativos, podendo causar miíase secundária em animais (BYRD; CASTNER, 2010; GUIMARÃES; PAPAVERO, 1999; JAMES, 1947; OLIVEIRA-COSTA, 2011; SMITH, 1986). Além disso, *C. albiceps* é

conhecida por sua capacidade competitiva, onde suas larvas apresentam hábitos que variam de saprófagos a predadores de outros artrópodes, incluindo canibalismo (LAURENCE, 1981; WELLS; GREEMBERG, 1992). Estudos revelam que a introdução de *C. albiceps* ocasionou a supressão da espécie nativa *Cochliomyia macellaria* (Fabricius, 1775) no sudeste brasileiro (GUIMARÃES et al., 1979).

Espécies invasoras ou introduzidas possuem relevante importância ecológica para o ambiente invadido, pois podem competir eficientemente por recursos, resultando em impactos negativos às espécies nativas, como a modificação do habitat, disseminação de patógenos, alterações genéticas e extinção local (AGOSTINHO et al., 2000; CASTAÑO-QUINTERO et al., 2020). A avaliação de áreas com alto risco de invasões biológicas é um tema em ascensão, especialmente quando se utiliza modelos baseados em nicho ecológico (JOHOVIC et al., 2020). Essa técnica permite identificar previamente as áreas de risco potenciais para o estabelecimento de espécies invasoras e avaliar os possíveis impactos na biodiversidade local, fornecendo informações úteis que podem ser utilizadas em medidas de prevenção ou mitigação (PETERSON, 2003; ROURA-PASCUAL et al., 2004). Além disso, a modelagem é uma ferramenta útil quando a obtenção de amostras georreferenciadas é difícil, permitindo elaborar modelos e compreender a abrangente distribuição das espécies por meio de softwares estatísticos e técnicas matemáticas, acompanhadas de medidas de erro (GUISAN; ZIMMERMANN, 2000).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição potencial de *C. albiceps* na América do Sul, usando a abordagem da modelagem de nicho ecológico a fim de identificar possíveis novas áreas susceptíveis à invasão, bem como compreender as características ambientais que contribuem para o estabelecimento desta espécie invasora.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### Obtenção dos dados de ocorrência

Os dados de ocorrência de *C. albiceps* foram obtidos nas bases de dados GBIF (*Global Biodiversity Information Facility* - <https://doi.org/10.15468/dl.qth3h5>, acesso em 12/03/2023), SpeciesLink (<<https://specieslink.net/search/>>, acesso em 12/03/2023), SiBBR (Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira - <<https://sibbr.gov.br/>>, acesso em 12/03/2023), BoldSystem (<[https://v3.boldsystems.org/index.php/Public\\_BINSearch?searchtype=records](https://v3.boldsystems.org/index.php/Public_BINSearch?searchtype=records)>, acesso em 12/03/2023) e iNaturalist (<<https://www.inaturalist.org>>, acesso em 12/03/2023). A busca foi realizada usando os seguintes termos: “*chrysomya albiceps*”, “*chrysomya*” e “*albiceps*”.

Os pontos de ocorrência foram reunidos em uma planilha, na qual os dados não pertencentes à espécie ou duplicados foram eliminados, resultando em apenas um arquivo com dados únicos com coordenadas geográficas. Posteriormente, o arquivo resultante foi analisado no *software* Qgis (versão 3.14.16-Pi), onde pontos com informações imprecisas, como, por exemplo, localizados no mar, ocorrências centralizadas em províncias, estados ou países foram eliminados. Em seguida, foi utilizado o pacote *spThin* 1.4 (AIELLO-LAMMENS et al., 2015) no R (R Core Team, 2023, versão 4.3.1) para filtrar as ocorrências com distâncias menores que 2 km entre si, a fim de evitar vieses de amostragem pelo agrupamento espacial de dados.

### Definição da área nativa

A área nativa foi definida com base nas informações de distribuição original da espécie, conforme descrito por James (1947) e Zumpt (1965). Devido à falta de coordenadas geográficas nos relatos da época, foi delineado um polígono abrangendo os países mencionados.

Utilizando o *software* QGIS, foi então delimitado as áreas de distribuição de *C. albiceps* (área P do diagrama BAM, conforme classificação de SOBERÓN; PETERSON, 2005), resultando em um arquivo de camada vetorial. A área delimitada foi posteriormente utilizada como "máscara" para recortar as camadas dos preditores ambientais empregadas nas etapas subsequentes.

### Variáveis ambientais

Foram consideradas todas as variáveis relevantes para a espécie com base nas informações biológicas conhecidas. Dezenove camadas de variáveis bioclimáticas foram obtidas da base de dados WorldClim versão 2.1 (FICK; HIJMANS, 2017) com resolução 2,5 arco minutos (~ 4,625 Km), por meio do pacote “*geodata*” (HIJMANS, 2023). Cinco variáveis relacionadas ao solo: *Land cover*, *soil types*, *soil ph* (0-5 cm de profundidade) e *soil silt* (0-5 cm de profundidade), foram obtidas da base de dados SoilGrids (disponíveis em: <<https://soilgrids.org/>>. Acesso em 25 de maio de 2023), com uma resolução de 5 km. Já a camada de *population density* foi obtida do site da NASA (Disponível em: <[https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=SEDAC\\_POP](https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=SEDAC_POP)>, acesso 25 de maio de 2023). A camada de *potential evapotranspiration* foi obtida da base de dados ENVIREM (TITLE; BEMMELS, 2018), com resolução de 2,5 arco minutos (Tabela 1).

**Tabela 1.** Descrição das 25 camadas ambientais utilizadas inicialmente no estudo.

<b>Variáveis</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte</b>
BIO 1	Temperatura média anual	WorldClim
BIO 2	Intervalo Diurno Médio (Média das máximas mensais - mínimas mensais)	WorldClim
BIO 3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) ( $\times 100$ )	WorldClim
BIO 4	Sazonalidade da Temperatura (desvio padrão $\times 100$ )	WorldClim
BIO 5	Temperatura Máxima do Mês Mais Quente	WorldClim
BIO 6	Temperatura Mínima do Mês Mais Frio	WorldClim
BIO 7	Amplitude Térmica Anual (BIO5-BIO6)	WorldClim
BIO 8	Temperatura Média do Trimestre Mais Chuvoso	WorldClim
BIO 9	Temperatura Média do Trimestre Mais Seco	WorldClim
BIO 10	Temperatura Média do Trimestre Mais Quente	WorldClim
BIO 11	Temperatura Média do Trimestre Mais Frio	WorldClim
BIO 12	Precipitação Anual	WorldClim
BIO 13	Precipitação do Mês Mais Chuvoso	WorldClim
BIO 14	Precipitação do Mês Mais Seco	WorldClim
BIO 15	Sazonalidade da Precipitação (Coeficiente de Variação)	WorldClim

Variáveis	Descrição	Fonte
BIO 16	Precipitação do trimestre mais chuvoso	WorldClim
BIO 17	Precipitação do Trimestre Mais Seco	WorldClim
BIO 18	Precipitação do Trimestre Mais Quente	WorldClim
BIO 19	Precipitação do Trimestre Mais Frio	WorldClim
Pop. density	Densidade Populacional	NASA
PET	Evapotranspiração Potencial	ENVIREM
Land cover	Cobertura do Solo	SoilGrids
Soil types	Tipos de Solo	SoilGrids
Soil pH	pH do Solo (0-5 cm)	SoilGrids
Soil silt	Lodo do Solo (0-5 cm)	SoilGrids

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

As variáveis BIO 8, BIO 9, BIO 10, BIO 11, BIO 16, BIO 17, BIO 18 e BIO 19 (Tabela 1) foram excluídas por apresentarem descontinuidades e mudanças abruptas de valores em regiões próximas, principalmente na América do Sul. Além disso, estas variáveis consideram meses não sequenciais, o que dificulta a interpretação biológica (BOOTH, 2022; ESCOBAR et al., 2014).

A fim de evitar o efeito de colinearidade das variáveis, foi feita análise de correlação par a par, assumindo como ponto de corte o valor  $r > 0,85$  ou  $r < -0,85$ . Uma vez constatada a correlação entre variáveis, foram mantidas aquelas que melhor explicam a ocorrência da espécie considerando os conhecimentos sobre sua biologia.

### Calibração e avaliação dos modelos

Para esta etapa, foi utilizado o pacote *Kuenm* (COBOS et al., 2019) no R, que se comunica com o algoritmo Maxent 3.4.4 (PHILLIPS et al., 2006; PHILLIPS et al., 2024). Dos parâmetros utilizados com auxílio do pacote *Kuenm*, foram criados aleatoriamente 10.000 pontos de *background* na área de calibração (chamada de área P), onde 70% destes dados foram utilizados para treino e 30% utilizados para teste do modelo (MEROW et al., 2013). Os modelos candidatos foram criados combinando os seguintes multiplicadores de regularização (0.1, 0.2, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5) e todas as 5 combinações de *feature classes* disponíveis ("l", "lq", "lqp", "lqpt", "lqpth", onde l é *linear*, q é *quadratic*, p é *product*, t é *threshold* e h é *hinge*) (MEROW et al., 2013). Além desses parâmetros, as variáveis foram combinadas entre si em grupos de no mínimo quatro. O desempenho dos modelos candidatos foi avaliado com

base na taxa de omissão ( $E = 5\%$ ), medida de aderência do modelo (critério de informação de Akaike corrigido para tamanhos de amostra pequenos - AICc). Aqueles modelos com valores de delta AICc menores que dois foram considerados.

### Projeção e criação dos modelos finais

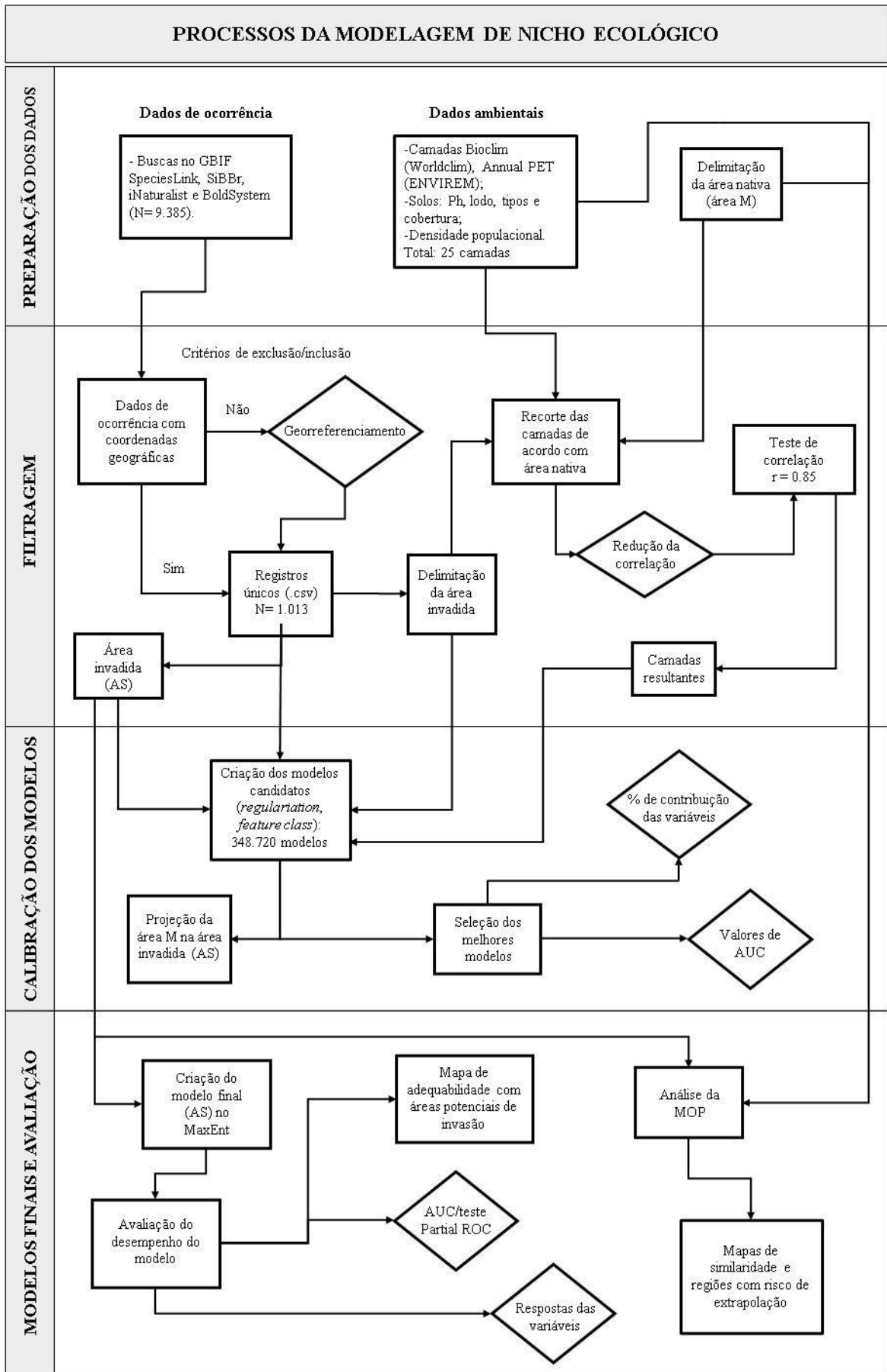
Os modelos que atenderam aos critérios foram projetados na América do Sul (área G) usando 500 iterações, com cinco réplicas por *bootstrap* e saída logística. Para melhor avaliação dos modelos finais, optou-se pela utilização da saída logística (gradiente de valores variando entre 0 a 1), onde valores mais próximos de 1 são consideradas regiões de maiores adequabilidades (COBOS et al., 2019). Essa escolha possibilita visualizar o grau de adequabilidade e discriminar as áreas mais propícias à presença e ausência da espécie em estudo (GIOVANELLI et al., 2007). Foram produzidos mapas no *software* QGIS a partir dos arquivos raster resultantes das projeções.

Para validar o desempenho dos modelos, foram utilizadas as métricas de AUC (*area under the curve*) da curva ROC (*receiver operating characteristic*). Os valores de AUC variam de 0 a 1, sendo os valores de 0,9 – 1 considerados excelentes, 0,8 – 0,9 bons, 0,7 – 0,8 médios, 0,6 – 0,7 ruins e 0,5 – 0,6 muito ruins, seguindo a proposta de Metz (1986) e Giannini et al. (2012).

A contribuição percentual de cada variável para os modelos escolhidos foi estimada com o teste *Jackknife* no Maxent. O risco de extrapolação na transferência dos modelos selecionados da área nativa para a América do Sul foi calculado através da análise de MOP (*mobility-oriented parity*) proposto por Owens et al. (2013) por meio do pacote MOP 0.1.2 (COBOS et al., 2024) no R. Esta análise identifica as regiões entre as áreas de calibração e de projeção onde há dissimilaridade em relação às combinações de variáveis utilizadas, revelando assim os locais onde há risco de extrapolação na área projetada (América do Sul). Foram utilizados três tipos de análises: “mop\_distances”, “mop\_basic” e “mop\_detailed\_towards\_high\_combined”. Para todos os cálculos foi utilizada a distância euclidiana para o cálculo de similaridade, conforme apresentado nos mapas resultantes (Figura 1).

**Figura 1** - Fluxograma dos processos de modelagem.



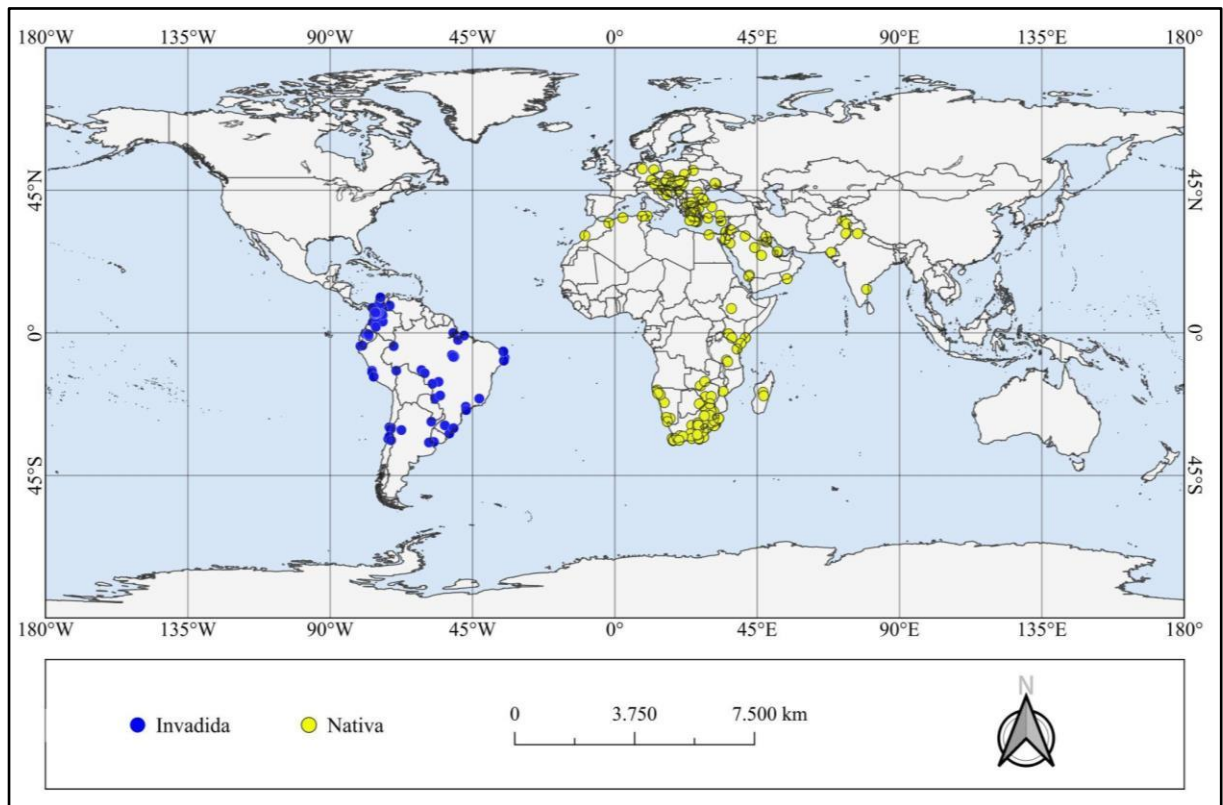


Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

## 2.3 RESULTADOS

A busca por dados de ocorrências de *C. albiceps* resultou em um total de 9.385 registros (6.774 do GBIF, 907 do SpeciesLink, 828 do SiBBr, 493 da plataforma iNaturalist e 383 do Bold System). Desse total, 7.897 apresentavam coordenadas geográficas. Depois da eliminação dos registros duplicados e/ou imprecisos, obteve-se um *dataset* com 1.013 registros únicos. Após a filtragem das ocorrências próximas espacialmente, foram mantidos 567 registros, sendo 442 pontos da área nativa e 125 pontos na América do Sul (Figura 2).

**Figura 2** - Registros de ocorrência de *Chrysomya albiceps* em sua área nativa e na América do Sul.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Das variáveis inicialmente consideradas, observou-se que BIO 1 apresentou uma forte correlação positiva com as variáveis PET e BIO 6. Além disso, BIO 4 correlacionou positivamente com BIO 7 e negativamente com BIO 3. Da mesma forma, BIO 5 correlacionou positivamente com PET e BIO 1. Por fim, BIO 13 revelou uma alta correlação positiva com BIO 12. Devido a essas associações identificadas, as variáveis BIO 1, BIO 4, BIO 5 e BIO 13

foram excluídas da etapa de calibração (Tabela 2). Foram empregadas um total de treze variáveis nas etapas subsequentes de calibração, seleção e construção dos modelos finais, sendo: seis variáveis bioclimáticas, cinco relacionadas ao solo e uma variável de densidade populacional.

**Tabela 2** - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis do estudo.

Variáveis	BIO 7	Land cover	Soil types	Soil ph	BIO 2	BIO 5	PET	BIO 15	BIO 1	BIO 6	BIO 3	BIO 13	Pop. density	BIO 12	BIO 14	Soil silt	BIO 4
BIO 7	1																
Land cover	0.51	1															
Soil types	0.33	0.48	1														
Soil ph	0.55	0.81	0.5	1													
BIO 2	0.41	0.5	0.38	0.63	1												
BIO 5	0.26	0.51	0.37	0.65	0.71	1											
PET	-0.14	0.32	0.26	0.44	0.71	0.85	1										
BIO 15	-0.08	0.13	0.13	0.25	0.47	0.52	0.62	1									
BIO 1	-0.29	0.23	0.19	0.35	0.51	0.84	0.94	0.59	1								
BIO 6	-0.67	-0.05	0	0.02	0.19	0.55	0.78	0.47	0.9	1							
BIO 3	-0.8	-0.26	-0.13	-0.23	0.16	0.15	0.58	0.29	0.6	0.81	1						
BIO 13	-0.56	-0.58	-0.4	-0.6	-0.29	-0.16	0.02	0.24	0.14	0.36	0.41	1					
Pop. density	-0.03	-0.07	-0.08	-0.03	-0.07	0.02	-0.02	0.07	0.04	0.04	-0.02	0.17	1				
BIO 12	-0.66	-0.71	-0.5	-0.79	-0.49	-0.38	-0.16	-0.07	-0.03	0.28	0.44	0.89	0.12	1			
BIO 14	-0.25	-0.45	-0.33	-0.58	-0.62	-0.61	-0.58	-0.57	-0.49	-0.26	-0.06	0.15	0.01	0.46	1		
Soil silt	0.39	0.09	-0.02	0.12	-0.28	-0.16	-0.46	-0.23	-0.42	-0.46	-0.57	-0.12	0.12	-0.12	0.19	1	
BIO 4	0.92	0.41	0.24	0.4	0.07	0.01	-0.43	-0.32	-0.51	-0.8	-0.92	-0.56	-0.02	-0.57	-0.01	0.53	1

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

Considerando todas as combinações possíveis, foram gerados 348.720 modelos candidatos. Destes, apenas dois foram estatisticamente significativos quanto aos parâmetros *Partial ROC* e *Omission rate* e quando considerados aqueles de menor valor do critério de informação de Akaike (Tabela 3). As configurações dos modelos selecionados foram características *linear*, *quadratic*, *product* e *threshold*, sendo 1,5 e 0,1 de multiplicador de regularização. As configurações destes modelos bem como os parâmetros referentes a cada modelo quanto em relação à aderência aos dados e desempenho são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3** - Configurações e desempenho dos modelos finais. RM (multiplicador de regularização), FC (características de classes, l: linear, q: quadrático, p: produto e t: limite), pROC (ROC parcial), taxa de omissão e AICc.

Métricas	Modelos	
	1	2
RM	0,1	1,5
FC	lq	lqpt
AUC Ratio (Mean)	2.593	2.453
pVal pROC	0	0
Omission rate 5%	0,038	0,038
AICc	2563,3	2561,7
Delta AICc	1.53	0
Weight AICc	0,25	0,539
Number parameters	17	43

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O modelo 1 considerou dez variáveis enquanto o modelo 2 considerou sete (Tabela 4). As variáveis *Soil pH* e *BIO 6* não foram utilizadas na construção de nenhum dos dois modelos selecionados enquanto as variáveis *BIO 2*, *BIO 3*, *BIO 15* e *Land cover* contribuíram exclusivamente para o modelo 1, e a variável *Soil silt* contribuiu exclusivamente para o modelo 2 (Tabela 4).

O teste de *Jackknife* de importância das variáveis mostrou que, em ambos os modelos, a variável que mais contribuiu foi a *PET*, com valores acima de 40%, seguida pela *population density* com uma porcentagem de contribuição de 20 e 15%, para os modelos 1 e 2, respectivamente (Tabela 4). Por outro lado, as variáveis *Land cover* e *Soil types* contribuíram

em uma porcentagem menor que 2% no modelo 1 (Tabela 4). As variáveis BIO 7 e BIO 12 contribuíram em porcentagens quase similares (12.9% e 12.6%, respectivamente) no modelo 2, enquanto para o modelo 1, a porcentagem da BIO 12 foi menor que a da BIO 7 (5.5% e 7,4, respectivamente). Os valores de AUC obtidos para estes modelos foram  $0,878 \pm 0,014$  (Modelo 1) e  $0,930 \pm 0,007$  (Modelo 2).

**Tabela 4** - Contribuição das variáveis bioclimáticas nos dois modelos finais. (ver detalhamento das variáveis na tabela 1).

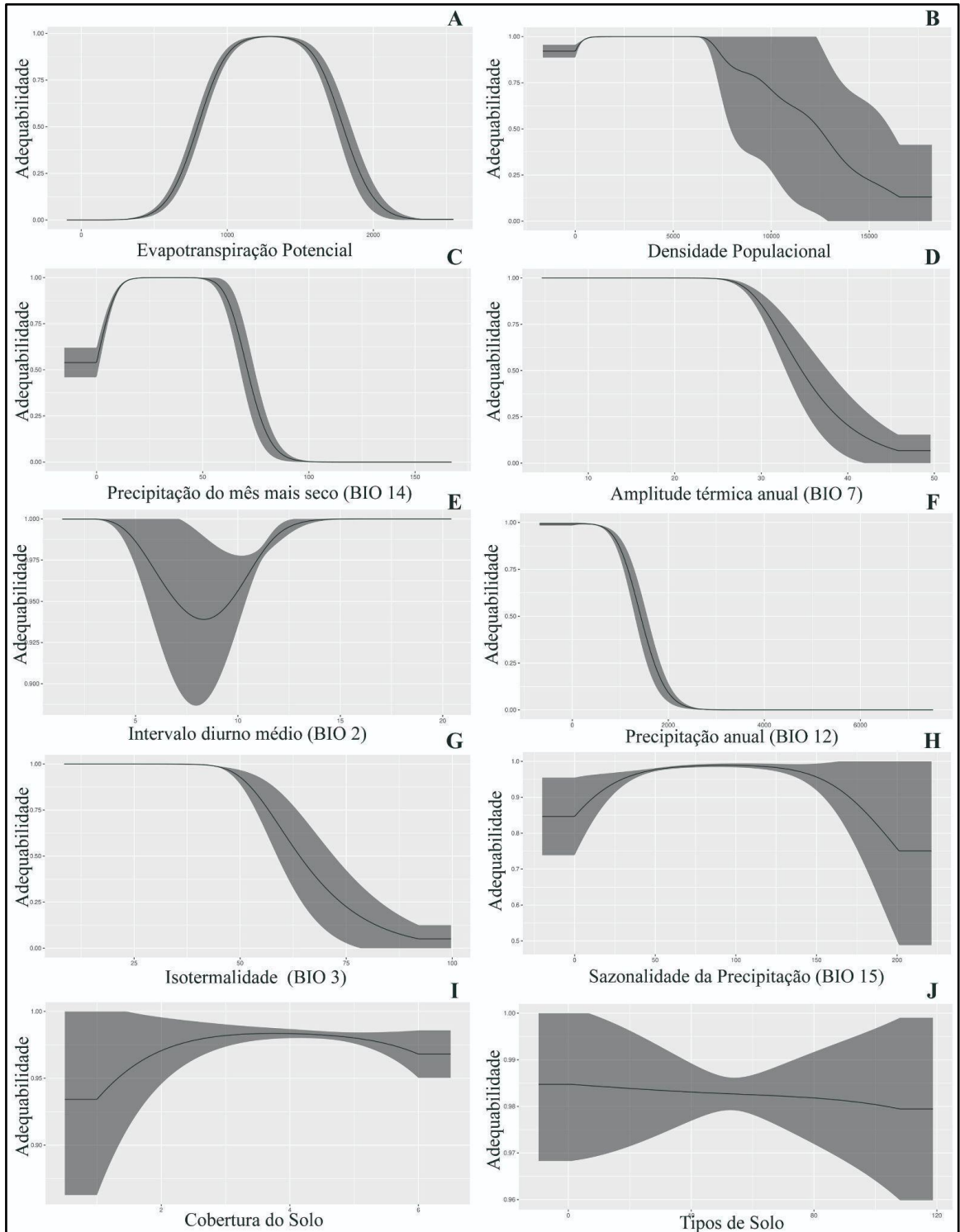
Variável	Contribuição percentual por modelo (%)	
	Modelo 1	Modelo 2
PET	42,9	46,6
<i>Pop. density</i>	19,2	15,9
BIO 14	8,4	7,8
BIO 7	7,4	12,9
BIO 2	6,6	-
BIO 12	5,5	12,6
BIO 3	3,9	-
BIO 15	3	-
<i>Soil silt</i>	-	2,7
<i>Soil types</i>	1,3	1,5
<i>Land cover</i>	1,7	-

Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

O comportamento das variáveis de maior importância para os modelos (Tabela 4) exibiram diferentes respostas. No modelo 1, a variável PET apresentou um gráfico em forma de sino, ou seja, a adequabilidade decresce quando os valores se distanciam do ponto médio, exibindo melhores resultados próximos a 1250 mm/ano (Figura 3A). Quanto à variável *pop. density*, a adequabilidade é próxima à máxima até aproximadamente 7000 h/km<sup>2</sup>, quando diminui de forma linear. Das variáveis mais relevantes para a construção do modelo 1 que descrevem a temperatura e umidade, BIO 14 demonstrou que a adequabilidade é máxima quando a precipitação do mês mais seco varia próximo de 25 a 50 mm/mês (Figura 3C). Já BIO

7 demonstra melhores adequabilidades por quase toda a escala até aproximadamente 25 °C, quando diminui linearmente (Figura 3D).

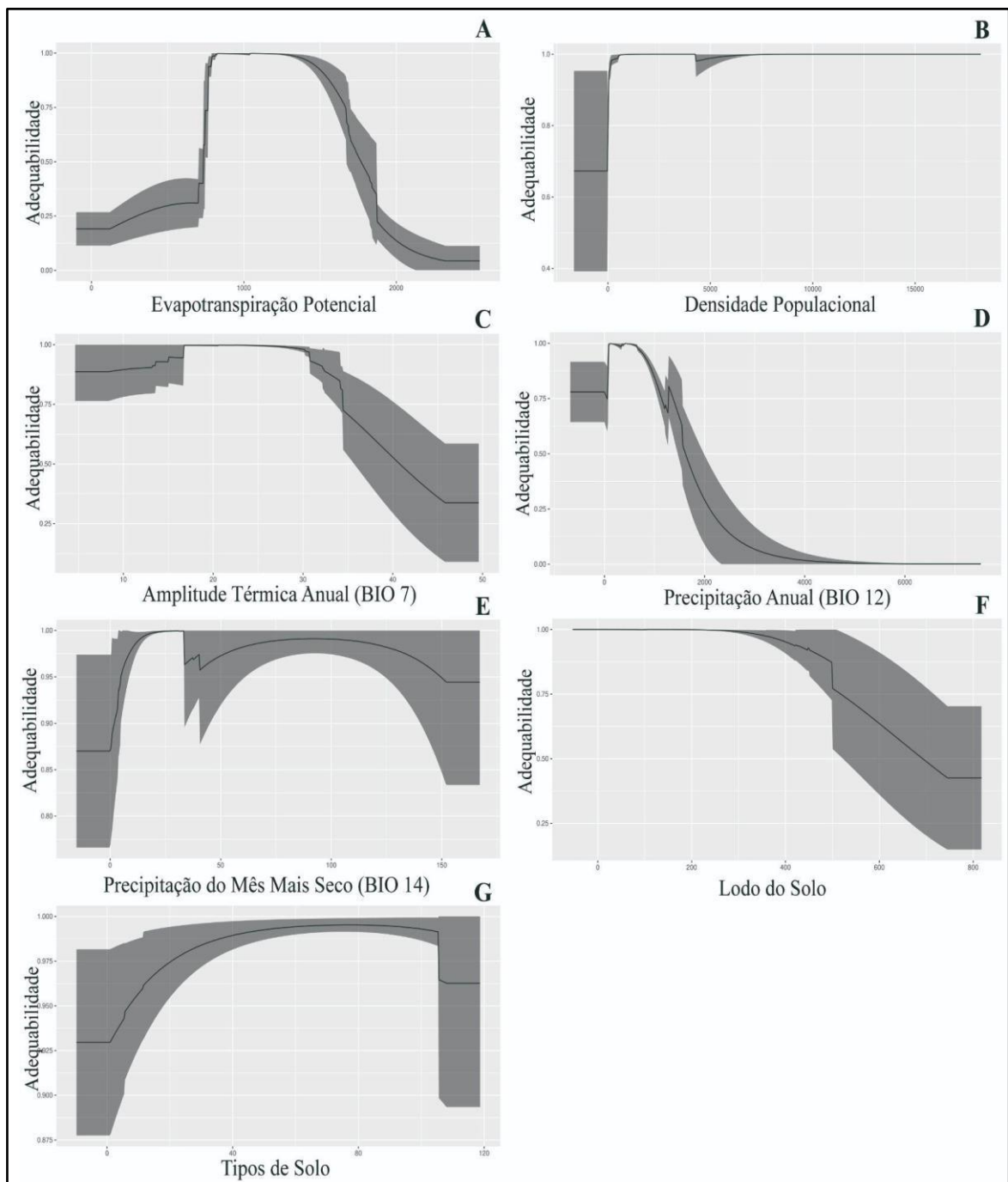
**Figura 3** - Curvas de resposta das variáveis que contribuíram para a construção do modelo 1.



Fonte: Plotado através *software* R (2024).

No modelo 2, a variável PET apresentou característica semelhante ao modelo 1, porém possui um aumento mais abrupto na faixa de adequabilidade de aproximadamente 750 a 1250 mm/ano (Figura 4A). Já a *pop. density* apresentou máxima adequabilidade em praticamente toda escala da análise (Figura 4B). Diferentemente do modelo 1 a variável BIO 7 apresentou melhor adequabilidade em uma faixa aproximada de 15 a 30 °C (Figura 4C). A variável BIO 12 teve um comportamento semelhante em ambos modelos, demonstrando melhores resultados com a precipitação anual próxima da faixa de 0 a 500 mm/ano (Figura 4D).

**Figura 4** - Curvas de resposta das variáveis que contribuíram para a construção do modelo 2.

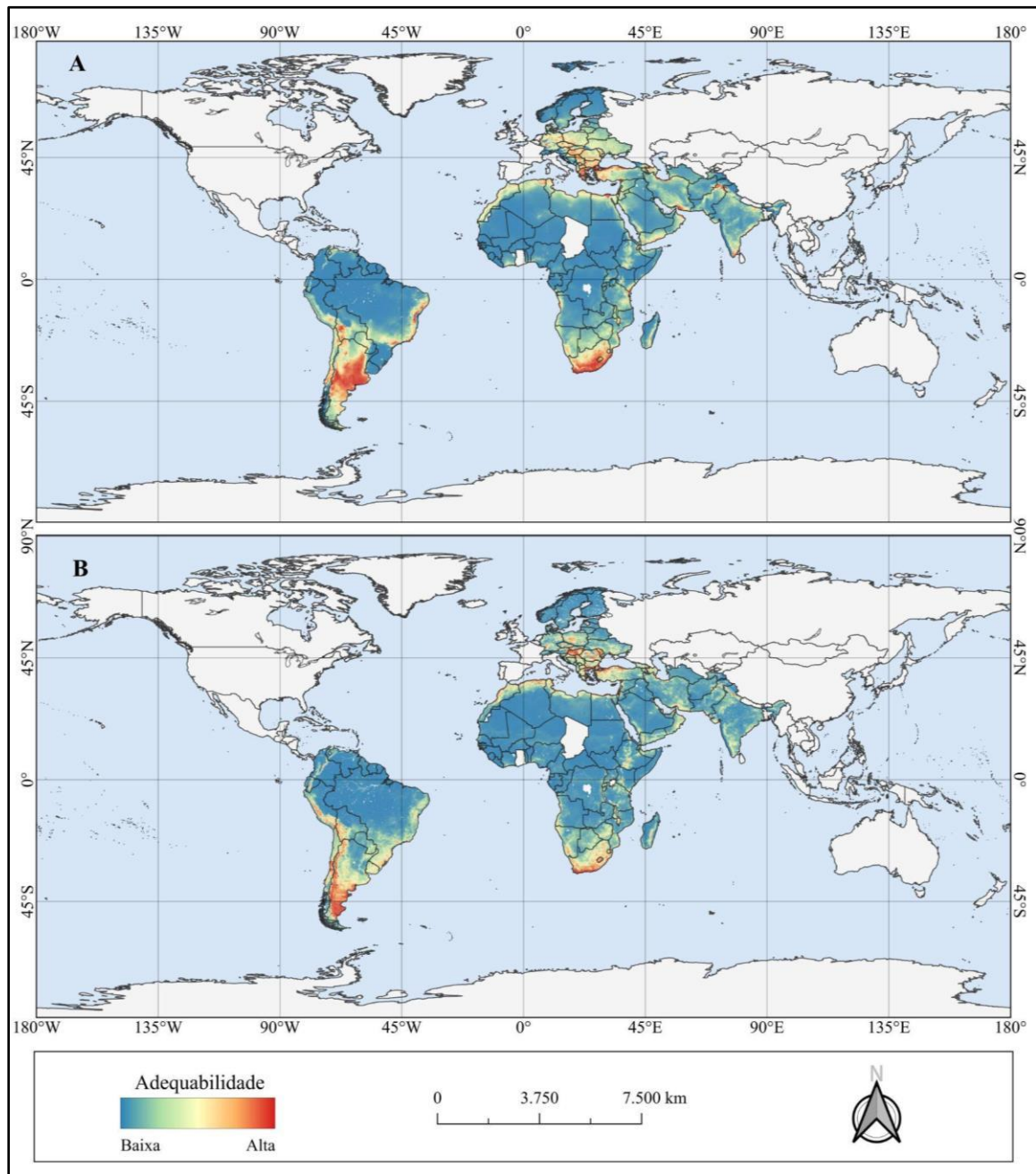




Fonte: Plotado através *software* R (2024).

A modelagem na área nativa apresentou áreas de alta adequabilidade na região central da Europa (Figura 5). Em ambos modelos, foi possível observar áreas de alta adequabilidade em regiões costeiras de alguns países, como, por exemplo, na região mediterrânea: Marrocos, Argélia, Tunísia, Líbia, Egito, Israel, Líbano, Turquia, Grécia; assim como, Irã, Paquistão, Índia, Madagascar, África do Sul, Namíbia e Angola. A África do Sul se destaca como sendo um país com as maiores áreas de adequabilidade para *C. albiceps*, uma vez que quase toda extensão territorial do país é prevista como adequada nos modelos (Figura 5A e 5B).

**Figura 5** - Projeção das áreas de adequabilidade na área invadida e nativa (A: Modelo 1 e B: Modelo 2).



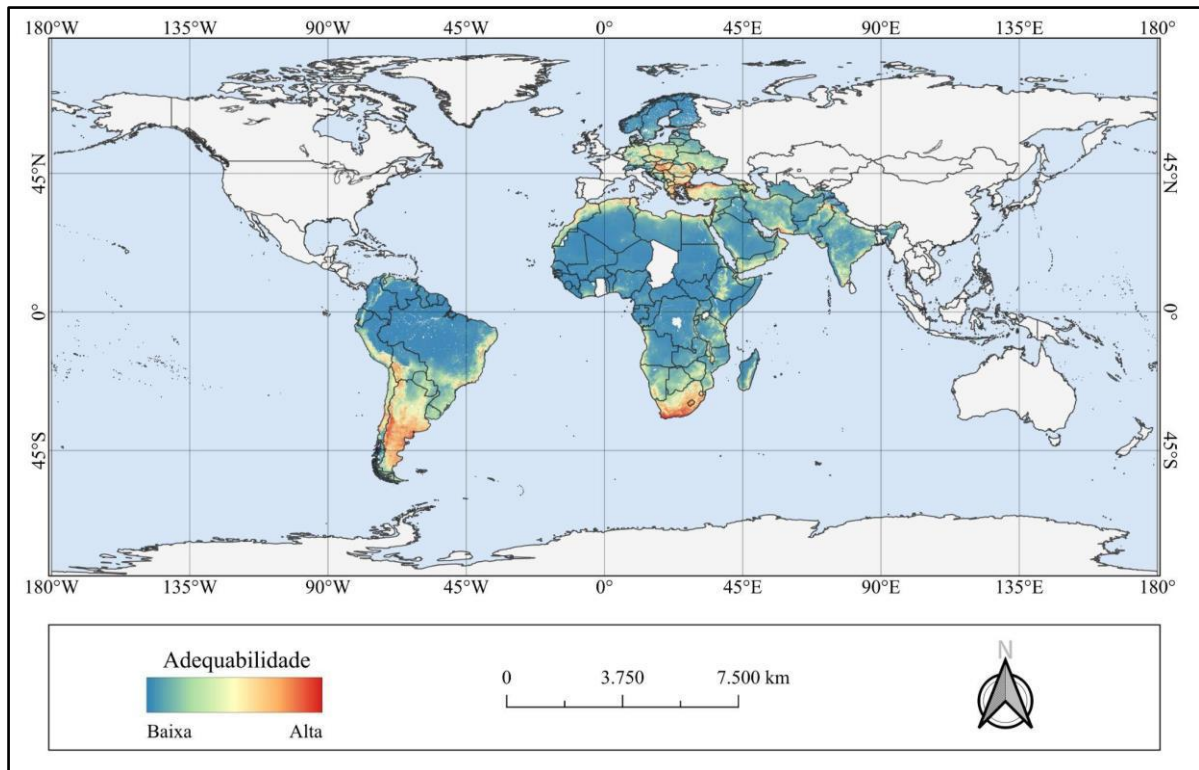
Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A projeção dos dois modelos na área G apresentou áreas semelhantes de adequabilidade no continente sul-americano, coincidindo com a distribuição atual para a espécie. A região centro-norte do Brasil demonstrou áreas de baixa adequabilidade nos modelos, assim como grande parte da região amazônica, englobando o sul da Venezuela, sudeste da Colômbia, nordeste do Peru, Suriname, Guiana e Guiana Francesa. Foram observadas áreas contrastantes na região Sul do Brasil em ambos modelos, enquanto no modelo 1 apresentou poucas áreas de

adequabilidade, o modelo 2 mostrou uma homogênea faixa com níveis de adequabilidade média e alta (Figura 5). Semelhantemente ao observado com a área nativa, o continente sul-americano apresentou níveis de média a alta adequabilidade em regiões costeiras, tanto da costa atlântica, quanto pacífica (Figura 5). No modelo 1 as regiões costeiras do nordeste ao sudeste do Brasil apresentaram maiores níveis de adequabilidade, enquanto as regiões costeiras do Chile, Peru e Equador evidenciaram poucas regiões de alta adequabilidade (Figura 5). Já no modelo 2 é possível observar uma faixa quase contínua com áreas de alta adequabilidade nas regiões costeiras do Chile, Peru e Equador, seguindo até o norte da Colômbia e Venezuela (Figura 5). No modelo 1 é possível identificar mais áreas de alta adequabilidade em contraste com o modelo 2. Dentre todas as regiões com alta adequabilidades encontradas em ambos modelos, o território argentino indicou níveis mais altos de adequabilidade no modelo 1 que no modelo 2. Argentina foi o país com maior área de alta adequabilidade no continente sul-americano, principalmente no modelo 1.

O resultado dos modelos combinados (Figura 6) destaca a região sul do continente sul-americano, revelando poucas áreas com baixa ou nenhuma adequabilidade para *C. albiceps*. Em contrapartida, uma grande área do norte do continente sul-americano não apresentou adequabilidade para a espécie em estudo, sendo no território brasileiro a maior área de baixa ou nenhuma adequabilidade.

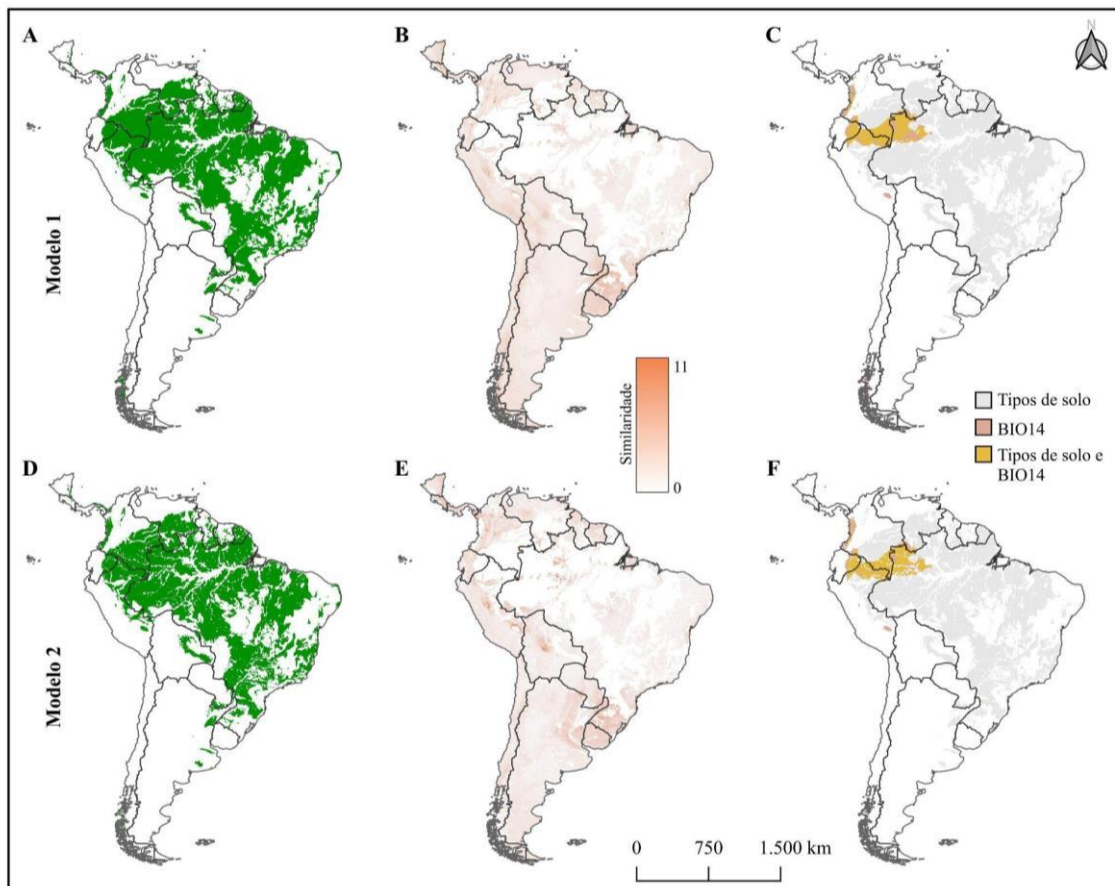
**Figura 6 -** Mapa da projeção da fusão dos Modelos 1 e 2 na América do Sul.



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

A análise da MOP (*mobility-oriented parity*) evidenciou áreas com condições ambientais distintas da área calibrada. Nesta análise, ambos modelos apresentaram concordâncias das regiões com risco de extrapolação, especialmente na região sul do continente (Figura 7, A e D). Na análise de gradiente de similaridade (Figura 7, B e E), os valores mais próximos de zero representam regiões com condições ambientais mais semelhantes a da área nativa, enquanto os valores mais elevados reproduzem condições ambientais mais distintas entre as áreas nativa e a projetada. Das variáveis que contribuíram nos modelos, *soil types* e BIO14 apresentaram maiores valores de similaridade com a área de treinamento do modelo, excepcionalmente na delimitação que abrange o noroeste do Brasil, norte do Peru, leste do Equador e sudoeste da Colômbia (Figura 7, C e F). Estas regiões indicaram similaridade com a área nativa e, com isso, baixo risco de extrapolação, quando utilizadas as referidas variáveis separadamente e em conjunto.

**Figura 7** - Resultados da análise da MOP para os modelos nas áreas projetadas (A e D apresentam as regiões onde as condições ambientais são mais similares com a área nativa; B e E mostra o gradiente de similaridade entre a área nativa e projetada; C e F mostra quais variáveis ambientais e as regiões que apresentaram os maiores valores de similaridade com a área treinada).



Fonte: Elaborada pelo autor (2024).

## 2.4 DISCUSSÃO

A utilização dos preditores ambientais na modelagem de nicho ecológico para *C. albiceps* mostrou uma grande área de adequabilidade na maioria dos países da América do Sul, assim como observado na área nativa da espécie. A modelagem de nicho ecológico indicou que a espécie possui tolerância a diferentes condições ambientais, podendo ocorrer em regiões com diferentes níveis de temperatura, umidade e elevação. Estes resultados coincidem com alguns estudos que demonstram que a espécie é resistente às modificações abióticas, podendo se desenvolver em temperaturas que variam de 9 a 27°C, ser encontrada em regiões com elevação superior a 3000 metros em relação ao nível do mar e em locais de pluviosidade com variações de 0 – 2500 mm/ano (BAUMGARTNER; GREENBERG, 1984; HOSNI et al., 2022; RODRIGUES-FILHO et al., 2023).

Outros trabalhos demonstram o sucesso do gênero *Chrysomya* na perpetuação de novas áreas na América do Sul, bem como seu impacto sobre a dipterofauna nativa brasileira (LINHARES, 1981; MENDES; LINHARES, 1993). No caso de *C. albiceps*, a competição com espécies nativas é acentuada (GUIMARÃES; PAPAVERO, 1999), sendo capaz de suprimir a densidade populacional de espécies como *Lucilia eximia* (Wiedemann, 1819) e *Cochliomyia macellaria* (Fabricius, 1775) (WELLS; GREENBERG, 1992).

Embora *C. albiceps* tenha sido documentada em diversas regiões do continente sulamericano, não há registros de sua presença no Suriname e na Guiana (KOSMANN et al., 2013), fato que pode estar relacionado à ausência de estudos na região, barreiras geográficas ou à alguma interferência biótica ainda não identificada. Vale ressaltar que *C. albiceps* foi registrada em todos os países inseridos no bioma amazônico. Os resultados da modelagem feita neste trabalho mostraram uma baixa adequabilidade nestes territórios para a presença da espécie, apesar de ambos os países estarem localizados em áreas costeiras do continente.

A resposta de moscas-varejeiras às variáveis abióticas nos trópicos revela que os picos populacionais são coincidentes com as fases iniciais e finais das estações chuvosas (JOHNSON; ESSER, 2000), embora os resultados da modelagem indicaram que o nível de precipitação em que a espécie possui melhor adequabilidade seja relativamente baixo (até 500 mm/ano). Bansode et al. (2016) demonstraram a relevância da umidade para a maturação dos ovos e desenvolvimento larval, destacando a importância crítica desse fator ambiental para o ciclo de

vida de outra espécie do gênero (*C. megacephala*). De forma semelhante, Azevedo e Krüger (2013) destacam que a temperatura e umidade são fatores críticos para a ocorrência da maioria das espécies da família Calliphoridae, sendo a temperatura a variável mais relacionada com os picos populacionais de *C. albiceps*.

Em concordância com os fatores ambientais que mais influenciam a espécie, a preditora ambiental que mais contribuiu para a construção dos modelos foi a PET (*potential evapotranspiration*). Seu cálculo considera temperatura e umidade relativa, motivo pelo qual correlaciona positivamente com BIO1. Esta variável mensura a quantidade máxima de água “perdida” para a atmosfera em forma de evaporação e transpiração (LU et al., 2005). A relevância dessa variável na caracterização das áreas mais propícias, conforme indicado pelos modelos, sugere que a presença de *C. albiceps* está intrinsecamente relacionada às variações destes parâmetros abióticos, sendo possível observar que mesmo em ambientes secos e quentes, essa espécie é capaz de se desenvolver (OLIVEIRA; VASCONCELOS, 2019). Essa observação é corroborada pelas ocorrências na área nativa, que abrange vastas regiões com regimes climáticos áridos e desérticos (JAMES, 1947; ZUMPT, 1965). Essa ampla adaptabilidade pode intensificar o sucesso da espécie como invasora, destacando a importância da ferramenta preditiva.

No caso da segunda variável mais expressiva na construção dos modelos, a *Pop. density*, demonstrou como a dinâmica populacional humana influencia na distribuição da espécie. Isso foi evidenciado ao observar grandes áreas de adequabilidade ao redor de conglomerados urbanos, como as capitais dos estados do sudeste do Brasil e as capitais da Bolívia, Chile, Argentina, Paraguai e Uruguai. Esse padrão ressalta o hábito antropofílico de *C. albiceps* (AZEVEDO; KRÜGER, 2013; BARBOSA et al., 2017; FERRAZ et al., 2010), uma vez que o ambiente modificado proporciona grande provisão ao seu hábito saprófago (OLIVEIRA-COSTA, 2011). Além disso, as curvas de resposta da variável em ambos modelos apresentou alta adequabilidade quando a densidade populacional permanece acima dos 1000 h/km<sup>2</sup>. No entanto, os modelos mostraram que nem todas as áreas com alta adequabilidade são necessariamente densamente povoadas, como é o caso do sul da Argentina (modelo 2), sugerindo que a densidade populacional, por si só, não é suficiente para explicar os altos níveis de adequabilidade nessas regiões, recebendo influência de outras variáveis. Em contrapartida, pode-se observar áreas com baixa densidade populacional que apresentaram alta adequabilidade, como algumas regiões da África. Sendo que este fato pode estar relacionado a

interações biológicas ou fatores climáticos específicos, como, por exemplo, áreas rurais onde há intensa produção agrícola e, principalmente, criação de animais.

Outro aspecto inerente à variável *Pop. density* está relacionado às questões de saúde pública e sanitária. Uma vez que larvas de *C. albiceps* desenvolvem-se em dejetos humanos e de outros animais, centros urbanos e regiões de periferias com condições sanitárias precárias são fontes de abrigo e alimento (OLIVEIRA-COSTA, 2011). Este resultado ressalta importantes discussões relacionadas à saúde pública no continente, pois estudos demonstram um aumento exponencial da geração de resíduos ao longo dos anos a nível mundial (SIMÕES et al., 2019). Além disso, pelo fato de *C. albiceps* ser encontrada em associação antrópica (GUIMARÃES; PAPAVERO, 1999) e possuir comportamento saprófago, esses insetos desempenham o papel como vetores para diversos agentes infecciosos, tais como *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca* e *Pasteurella pneumotropica* (CADAVID-SANCHEZ et al., 2015). Deste modo, nossos resultados podem identificar áreas onde a espécie em questão é mais ativa, o que pode ser útil para identificar possíveis centros suscetíveis a riscos de transmissão de doenças.

As variáveis referentes ao solo, *soil silt* (lodo no solo), *soil types* (tipos de solo) e *land cover* (cobertura do solo), tiveram uma contribuição menor em relação às outras na construção dos modelos de nicho da espécie. Isso sugere que esses fatores podem não ser críticos para a distribuição geográfica da espécie ou que sua variação ao longo do ano e entre diferentes regiões é relativamente pequena em comparação com outros fatores. Como é conhecido sobre o hábito sinantrópico de *C. albiceps*, a utilização destas variáveis pode não ser bem empregadas no contexto urbano, onde há, em geral, impermeabilização do solo. Entretanto, do ponto de vista biológico, o solo desempenha um papel importante no ciclo de vida das moscas-varejeiras. Cammack et al. (2010) ressaltaram a importância das propriedades do solo, especialmente a compactação, na distribuição das pupas da mosca-varejeira *Lucilia sericata* (Meigen, 1826), demonstrando que a compactação do solo influencia a disponibilidade de locais de pupação para as larvas e também na presença de temperatura e umidade ideais. Neste estudo, foi ainda observado que as diferenças térmicas podem afetar a taxa de desenvolvimento pupal, que é sensível à temperatura, impactando o sucesso do desenvolvimento das pupas e, conseqüentemente, os padrões de distribuição da espécie.

Em um estudo preditivo de *C. albiceps* na Europa, Rodrigues-Filho et al. (2023) utilizaram variáveis do WorldClim, sendo BIO 1 a variável que mais contribuiu para a



construção do modelo. Neste estudo, os autores relataram a grande tolerância da espécie frente às diversas condições ambientais que o continente europeu está contido. Assim como evidenciado no presente estudo, Rodrigues-Filho et al. (2023) também relatam alta adequabilidade nas regiões costeiras, principalmente nos países como Portugal, Espanha, França, Bélgica e países mediterrâneos. Em contrapartida, apenas as regiões de alta altitude, como os Alpes na Suíça, não foram constatadas áreas de adequabilidade para *C. albiceps*.

Já em estudo semelhante em escala global para *C. albiceps*, Hosni et al. (2022) utilizaram o mesmo *software* usado no presente estudo, juntamente com o DIVA-GIS, dados de três bases digitais e somente quatro variáveis bioclimáticas do WorldClim. Neste estudo, a variável BIO 1 também foi a que mais contribuiu para a construção dos modelos. No modelo utilizando o MaxEnt foram evidenciadas áreas de alta adequabilidade em todos os continentes, destacando, principalmente, áreas costeiras dos países. No continente sul-americano, semelhantemente ao presente estudo, a modelagem destacou praticamente toda região costeira oeste do continente como áreas de alta adequabilidade para a espécie, já a porção leste do continente foi evidenciado uma faixa contínua de alta adequabilidade se estendendo do sudeste do Brasil ao sul da Argentina.

Nossos resultados destacam uma ampla área de adequabilidade para *C. albiceps* no território argentino em comparação com os países vizinhos. Em particular, observa-se semelhança geográfica entre algumas áreas adequadas neste país e a área nativa da espécie. Além do território argentino estar espacialmente localizado em uma região com latitudes mais elevadas no continente, possui uma conhecida cadeia montanhosa inserida em seus limites (ANIDA, 2023). Da mesma forma, é demonstrado na área nativa regiões de adequabilidade nas cordilheiras do Atlas e na região sul do continente Africano, ressaltando a capacidade da espécie de ocupar regiões de elevadas altitudes (BAUMGARTNER; GREENBERG, 1984).

Em contra partida do que foi relatado sobre as possíveis semelhanças entre a área treinada e projetada, a análise da MOP apresentou cenários relevantes para a tomada de decisão, no que diz respeito à similaridade das áreas nativas em relação à área de projeção do modelo (América do Sul). Algumas áreas apontadas como adequadas não possuem condições equivalentes à área nativa, o que sugere cautela na identificação de áreas necessariamente prioritárias ou potenciais para invasão. Neste estudo, foi identificado pela MOP uma vasta região, principalmente no sul do continente, com risco de extrapolação. Este resultado não invalida a possibilidade de sucesso na proliferação da espécie na área, uma vez que na região

há registros de ocorrências da espécie (BATTAN HORENSTEIN et al., 2007; DUFEK et al., 2016; ORTLOFF-TRAUTMANN et al., 2013). Insetos podem se adaptar a novas condições ambientais mudando sua estratégia reprodutiva, ou alterando a taxa de crescimento e desenvolvimento (SGRÒ et al., 2016). O rápido ciclo evolutivo de *C. albiceps* pode propiciar uma adaptação por meio de altas taxas de mutação e consequente plasticidade fenotípica para sobreviver a condições diversas (KELLERMANN; VAN HEERWAARDEN, 2019; QUEIROZ; MILWARD-DE-AZEVEDO, 1991).

Das áreas que apresentaram altos níveis de adequabilidade, principalmente no modelo 1, a maior porção da região costeira do Brasil pertence ao bioma da Mata Atlântica (MMA, 2023). Sendo essa uma região de extrema importância por abrigar muitas espécies endêmicas do país (MARQUES; GRELE, 2021), trata-se também do ambiente que os primeiros indivíduos de *C. albiceps* se estabeleceram na América do Sul (GUIMARÃES et al., 1979; IMBIRIBA et al., 1977). Além de sua importância ecológica, este bioma é ocupado por mais de 50% da população brasileira, se destacando por ser um dos cinco mais importantes *hotspots* mundiais e a unidade biológica mais ameaçada do Brasil (IBGE, 2023; MARQUES; GRELE, 2021). Nesse contexto, é importante considerar a dinâmica ecológica da região da Mata Atlântica, que não apenas oferece condições favoráveis para a colonização da intensa competidora *C. albiceps*, mas também abriga outras espécies nativas da dipterofauna que desempenham papéis importantes nos ecossistemas locais (CABRINI et al., 2013; VASCONCELOS et al., 2015). No entanto, a ação antrópica, incluindo a expansão urbana e o desmatamento, representa uma ameaça significativa para a integridade desse bioma e pode afetar, não apenas a biodiversidade local, mas também a saúde pública e os serviços ecossistêmicos prestados por esse ambiente (MARQUES; GRELE, 2021; MMA, 2023).

Em suma, a presença de espécies exóticas no ambiente invadido possibilita muitas consequências, principalmente negativas, para a fauna (GIOVANELLI et al., 2007), a flora (ARAÚJO et al., 2022) e a saúde pública local (FLORES-LÓPEZ et al., 2022). Para *C. albiceps*, os efeitos de sua expansão estão principalmente relacionados a prejuízos às espécies de moscas-varejeiras nativas (WELLS; GREENBERG, 1992) e na atuação como vetores de doenças infecciosas (CADAVID-SANCHEZ et al., 2015). Considerando a forte associação de *C. albiceps* com ambientes modificados (OLIVEIRA-COSTA, 2011), a ampliação dessas áreas no continente sul-americano pode levar a um crescimento significativo da população da espécie e, por sua vez, intensificar os prejuízos mencionados anteriormente. No entanto, ainda há uma lacuna no entendimento sobre a complexidade das interações interespecíficas dessas moscas,

destacando a necessidade de pesquisas adicionais para entender melhor os fatores que influenciam a dinâmica populacional de *C. albiceps* em diferentes regiões.

Nossos resultados mostram que há muitas regiões adequadas onde a espécie apresenta pouca ou nenhuma ocorrência, assim como áreas pouco ou nada adequadas onde há registros de presença. Esses achados indicam a importância também de explorar novas variáveis e técnicas, incluindo aquelas que consideram as redes de interações biológicas da espécie. Sendo que a incorporação dessas abordagens poderá esclarecer os mecanismos que impulsionam a expansão de *C. albiceps* e auxiliar na previsão de seu impacto nos ecossistemas.

## 2.5 CONCLUSÃO

Os resultados alcançados neste trabalho coincidem com a distribuição observada na área nativa de *C. albiceps*, conforme indicado pelo mapa gerado e estudos recentes (HOSNI et al., 2022). No entanto, é importante considerar que ao longo do tempo, *C. albiceps* pode ter passado por adaptações às diversas interações bióticas e condições abióticas encontradas no novo continente. Isso sugere a possibilidade de que a espécie tenha se ajustado às novas circunstâncias, o que pode explicar a manutenção de sua presença em áreas que, à primeira vista, poderiam parecer menos adequadas. Esse fenômeno ressalta a plasticidade da espécie em resposta às mudanças ambientais e destaca a complexidade das interações ecológicas no contexto da distribuição geográfica.

A identificação das áreas consideradas adequadas ou inadequadas, conforme ilustrado nas figuras, não fornece uma precisão absoluta quanto à presença ou ausência da espécie em um determinado local, como evidenciado no caso do norte do Brasil. A ferramenta de predição dessas áreas prioriza principalmente as condições abióticas que sugerem a distribuição da espécie (PETERSON, 2003). No entanto, devido à complexidade das inúmeras interações bióticas às quais estas moscas estão sujeitas, torna-se um desafio garantir a ausência de vieses nessa abordagem. Portanto, este estudo ressalta a necessidade premente de realizar pesquisas mais aprofundadas sobre as interações bióticas que envolvem *C. albiceps*, os fatores que influenciam sua adequação em diferentes regiões e os potenciais impactos de sua presença sobre outras espécies de moscas-varejeiras e, igualmente relevante, sobre a saúde pública.

## REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, A. A.; JÚLIO JR., H. F.; TORLONI, C. E. Impactos causados pela introdução e transferência de espécies aquáticas: uma síntese. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AQUICULTURA, 8., 1994, Piracicaba. Anais: FEALQ, p. 59-75, 2000.
- AIELLO-LAMMENS, M. E.; BORJA, R. A.; RADOSAVLJEVIC, A.; VILELA, B.; ANDERSON, R. P. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*, v. 38, n. 5, p. 541-545, 2015.
- ANIDA - ATLAS NACIONAL INTERACTIVO DE ARGENTINA. Geología de Argentina, 2023. [acessado em 17 de outubro de 2023]. Disponível em: <https://ide.ign.gob.ar/portal/apps/MapJournal/index.html?appid=ab1131d6c3c142a09b3f2a62722a3a79>.
- ARAÚJO, F. H. V.; DA SILVA, A. F.; RAMOS, R. S.; FERREIRA, S. R.; DOS SANTOS, J. B.; DA SILVA, R. S.; SHABANI, F. Modelling climate suitability for *Striga asiatica*, a potential invasive weed of cereal crops. *Crop Protection*, 2022.
- AZEVEDO, R. R.; KRÜGER, R. F. The influence of temperature and humidity on abundance and richness of Calliphoridae (Diptera). *Iheringia. Série Zoologia*, v. 103, p. 145-152, 2013.
- BADENHORST, R.; VILLET, M. H. The uses of *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794) (Diptera: Calliphoridae) in forensic entomology. *Forensic Sciences Research*, v. 3, p. 2-15, 2018.
- BANSODE, S. A.; MORE, V. R.; ZAMBARE, S. P.; FAHD, M. Effect of constant temperature (20°C, 25°C, 30°C, 35°C, 40°C) on the development of the Calliphorid fly of forensic importance, *Chrysomya megacephala* (Fabricius, 1794). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, v. 4, p. 193-197, 2016.
- BARBOSA, T. M.; CARMO, R. F. R.; SILVA, L. P.; SALES, R. G.; VASCONCELOS, S. D. Diversity of sarcosaprophagous calypterae (Diptera) on sandy beaches exposed to increasing levels of urbanization in Brazil. *Environmental Entomology*, p. 460-469, 2017.
- BATTAN HORENSTEIN, M.; LINHARES, A. X.; ROSSO, B.; GARCÍA, M. D. Species composition and seasonal succession of saprophagous calliphorids in a rural area of Córdoba: Argentina. *Biological Research*, p. 163-171, 2007.
- BAUMGARTNER, D. L.; GREENBERG, B. The genus *Chrysomya* (Diptera: Calliphoridae) in the new world. *Journal of Medical Entomology*, p. 105-113, 1984.
- BOOTH, T. H. Checking bioclimatic variables that combine temperature and precipitation data before their use in species distribution models. *Austral Ecology*, p. 1506-1514, 2022.
- BYRD, J. H.; CASTNER, J. L. *Forensic Entomology: the utility of arthropods in legal investigations*. 2. ed. Boca Raton (U.S.): CRC Press, p. 681, 2010.
- CABRINI, I.; GRELLA, M. D.; ANDRADE, C. F.; THYSSEN, P. J. Richness and composition of Calliphoridae in an Atlantic Forest fragment: implication for the use of dipteran species as bioindicators. *Biodiversity and Conservation*, p. 2635-2643, 2013.

CADAVID-SANCHEZ, I. C.; AMAT, E.; GOMEZ-PIÑEREZ, L. M. Enterobacteria isolated from synanthropic flies (Diptera, Calyptratae) in Medellín, Colombia. *Caldasia*, v. 37, n. 2, p. 319-332, 2015.

CAMMACK, J. A.; ADLER, P. H.; TOMBERLIN, J. K.; ARAI, Y.; BRIDGES, J. R.; WILLIAMS, C. Influence of parasitism and soil compaction on pupation of the green bottle fly, *Lucilia sericata*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, v. 136, n. 2, p. 134-141, 2010.

CASTAÑO-QUINTERO, S.; ESCOBAR-LUJÁN, J.; OSORIO-OLVERA, L.; PETERSON, A. T.; CHIAPPA-CARRARA, X.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; YÁÑEZ-ARENAS, C. Supraspecific units in correlative niche modeling improves the prediction of geographic potential of biological invasions. *PeerJ*, 2020.

COBOS, M. E.; OWENS, H. L.; SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Package ‘mop’ - Mobility Oriented-Parity Metric, Version 0.1.2. Disponível em: <https://github.com/marloncobos/mop>. 2024.

COBOS, M. E.; PETERSON, A. T.; BARVE, N.; OSORIO-OLVERA, L. Kuenm: an R package for detailed development of ecological niche models using Maxent. *PeerJ*, v. 7. Disponível em: <http://doi.org/10.7717/peerj.6281>, 2019.

COUTINHO, R. M.; GODOY, W. A. C.; KRAENKEL, R. A. Integrodifference model for blowfly invasion. *Theoretical Ecology*, v. 5, n. 3, p. 363-371, 2012.

DEAR, J. P. A revision of the new world Chrysomyini (Diptera: Calliphoridae). *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 3, p. 109-169, 1985.

DUFEK, M. I.; OSCHEROV, E. B.; DAMBORSKY, M. P.; MULIERI, P. R. Assessment of the abundance and diversity of Calliphoridae and Sarcophagidae (Diptera) in sites with different degrees of human impact in the Iberá Wetlands (Argentina). *Journal of Medical Entomology*, v. 53, n. 4, p. 827-835, 2016.

ESCOBAR, L. E.; LIRA-NORIEGA, A.; MEDINA-VOGEL, G.; PETERSON, A. T. Potential for spread of the white-nose fungus (*Pseudogymnoascus destructans*) in the Americas: use of Maxent and NicheA to assure strict model transference. *Geospatial Health*, v. 9, n. 1, p. 221, 2014.

FERRAZ, A. C. P.; GADELHA, B. Q.; AGUIAR-COELHO, V. M. Influência climática e antrópica na abundância e riqueza de Calliphoridae (Diptera) em fragmento florestal da Reserva Biológica do Tinguá, RJ. *Neotropical Entomology*, v. 39, p. 476-485, 2010.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017. Disponível em: <https://www.worldclim.org/>.

FLORES-LÓPEZ, C. A.; MOO-LLANES, D. A.; ROMERO-FIGUEROA, G.; GUEVARA-CARRIZALES, A.; LÓPEZ-ORDOÑEZ, T.; CASAS-MARTÍNEZ, M.; SAMY, A. M. Potential distributions of the parasite *Trypanosoma cruzi* and its vector *Dipetalogaster maxima* highlight areas at risk of Chagas disease transmission in Baja California Sur, Mexico, under climate change. *Medical and Veterinary Entomology*, v. 36, n. 4, p. 469-479, 2022.

- FURLANETTO, S. M. P.; CAMPOS, M. L. C.; HÁRSI, C. M. Microrganismos enteropatogênicos em moscas africanas pertencentes ao gênero *Chrysomya* (Diptera, Calliphoridae) no Brasil. *Revista de Microbiologia*, v. 15, n. 3, p. 170-174, 1984.
- GAGNÉ, R. J. *Chrysomya* spp., Old World blow flies (Diptera: Calliphoridae), recently established in the Americas. *Bulletin of the ESA*, v. 27, n. 1, p. 21-22, 1981.
- GIANNINI, T. C.; SIQUEIRA, M. F.; ACOSTA, A. L.; BARRETO, F. C.; SARAIVA, A. M.; ALVES-DOS-SANTOS, I. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. *Rodriguésia*, v. 63, p. 733-749, 2012.
- GIOVANELLI, J. G. R.; HADDAD, C. F. B.; ALEXANDRINO, J. Predicting the potential distribution of the alien invasive American bullfrog (*Lithobates catesbeianus*) in Brazil. *Biological Invasions*, v. 10, n. 5, p. 585-590, 2007.
- GUIMARÃES, J. H.; DO PRADO, A. P.; BURALLI, G. M. Dispersal and distribution of three newly introduced species of *Chrysomya* Robineau-Desvoidy in Brazil (Diptera, Calliphoridae). *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 23, n. 4, p. 245-255, 1979.
- GUIMARÃES, J. H.; PAPAVERO, N. Myiasis in Man and Animals in the Neotropical Region. São Paulo: Editora Plêiade, 308 p., 1999.
- GUISAN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, v. 135, n. 2-3, p. 147-186, 2000.
- HIJMANS, R. J.; BARBOSA, M.; GHOSH, A.; MANDEL, A. geodata: Download Geographic Data. R package version 0.5-8. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=geodata>. 2023.
- HOSNI, E. M.; AL-KHALAF, A. A.; NAGUIB, R. M.; AFIFY, A. E.; ABDALGAWAD, A. A.; FALTAS, E. M.; HASSAN, M. A.; MAHMOUD, M. A.; NAEEM, O. M.; HASSAN, Y. M.; NASSER, M. G. Evaluation of climate change impacts on the global distribution of the calliphorid fly *Chrysomya albiceps* using GIS. *Diversity*, v. 14, n. 7, p. 578, 2022.
- IBGE. Biomas brasileiros, 2023. [Acesso em 17 de outubro de 2023]. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>.
- IMBIRIBA, A. S.; IZUTANI, D. T.; MILHORETO, I. T.; LUZ, E. Introdução da *Chrysomya chloropyga* (Wiedemann, 1818) na região neotropical (Diptera: Calliphoridae). *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, v. 20, p. 35-39, 1977.
- JAMES, M. T. The flies that cause myiasis in man. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., 175 p., 1947.
- JOHNSON, C.; ESSER, J. A review of insect infestation of traditionally cured fish in the tropics. Department of International Development, London, 92 p., 2000.
- 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.

- KELLERMANN, V.; VAN HEERWAARDEN, B. Terrestrial insects and climate change: adaptive responses in key traits. *Physiological Entomology*, v. 44, n. 2, p. 99-115, 2019.
- KOSMANN, C.; DE MELLO, R. P.; SOUZA, É. S.; LUZ, J. R. A list of current valid blow fly names (Diptera: Calliphoridae) in the Americas South of Mexico with key to the Brazilian species. *EntomoBrasilis*, v. 6, n. 1, p. 74-85, 2013.
- LAURENCE, B. R. Geographical expansion of the range of *Chrysomya* blowflies. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, v. 75, n. 1, p. 130-131, 1981.
- LEE, C. M.; LEE, D. S.; KWON, T. S.; ATHAR, M.; PARK, Y. S. Predicting the global distribution of *Solenopsis geminata* (Hymenoptera: Formicidae) under climate change using the MaxEnt model. *Insects*, v. 12, n. 3, p. 229, 2021.
- LINHARES, M. Y. L.; SILVA, F. C. T. História da agricultura brasileira: combates e controvérsias. São Paulo: Brasiliense, 1981.
- LU, J.; SUN, G.; MCNULTY, S. G.; AMATYA, D. M. A comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, v. 41, n. 3, p. 621-633, 2005.
- MARQUES, M. C. M.; GRELLA, C. E. V. The Atlantic Forest. History, biodiversity, threats and opportunities of the mega-diverse forest. Springer International Publishing, 2021.
- MENDES, J.; LINHARES, A. X. Atratividade por iscas e estágios de desenvolvimento ovariano em várias espécies sinantrópicas de Calliphoridae (Díptera). *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 37, p. 157-166, 1993.
- MEROW, C.; SMITH, M. J.; SILANDER JR, J. A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, v. 36, n. 10, p. 1058-1069, 2013.
- METZ, C. E. ROC methodology in radiologic imaging. *Investigative Radiology*, v. 21, n. 9, p. 720-733, 1986.
- MMA. Biomas, 2023. [Acesso em 17 de outubro de 2023]. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/mata-atlantica>.
- OLIVEIRA, D. L.; VASCONCELOS, S. D. Do native and invasive blow fly (Diptera: Calliphoridae) species differ in their preferential time of flight? Empirical evidence from a seasonally dry tropical forest. *Journal of Arid Environments*, v. 174, p. 103985, 2019.
- OLIVEIRA-COSTA, J. Entomologia forense: quando os insetos são vestígios. 3. ed. Campinas, São Paulo (Brasil): Millennium Editora, 2011. ISBN: 978-85-7625-227-6.
- ORTLOFF-TRAUTMANN, A.; JARA-PEÑAILILLO, A.; ALBORNOZ-MUÑOZ, S.; SILVA-RIVEROS, R.; RIQUELME-GATICA, M. P.; PEÑA-REHBEIN, P. Primer reporte en Chile de *Chrysomya albiceps* (Diptera: Calliphoridae) en evidencia entomológica forense. *Archivos de Medicina Veterinaria*, v. 45, n. 1, p. 83-89, 2013.



OWENS, H. L.; CAMPBELL, L. P.; DORNAK, L. L.; SAUPE, E. E.; BARVE, N.; SOBERÓN, J.; INGENLOFF, K.; LIRA-NORIEGA, A.; HENSZ, C. M.; MYERS, C. E.; PETERSON, A. T. Constraints on interpretation of ecological niche models by limited environmental ranges on calibration areas. *Ecological Modelling*, v. 263, p. 10-18, 2013.

PETERSON, A. T.; PAPEŠ, M.; SOBERÓN, J. Rethinking receiver operating characteristic analysis applications in ecological niche modeling. *Ecological Modelling*, v. 213, n. 1, p. 63-72, 2008.

PETERSON, A. T. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology*, v. 78, n. 4, p. 419-433, 2003.

PHILLIPS, S. J.; DUDÍK, M.; SCHAPIRE, R. E. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Disponível em: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 2024-2-8.

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.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS geographic information system. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. 2023.

QUEIROZ, M. M.; MILWARD-DE-AZEVEDO, E. Técnicas de criação e alguns aspectos da biologia de *Chrysomya albiceps* (Wiedemann)(Diptera, Calliphoridae), em condições de laboratório. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 8, p. 75-84, 1991.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Version 4.3.1. Available at: <https://www.R-project.org/>. 2023.

RODRIGUES-FILHO, S. J. M.; DOS SANTOS LOBATO, F.; MEDEIROS DE ABREU, C. H.; REBELO, M. T. Where in Europe is *Chrysomya albiceps*? Modelling present and future potential distributions. *NeoBiota*, v. 85, p. 81, 2023.

ROURA-PASCUAL, N.; SUAREZ, A. V.; GÓMEZ, C.; PONS, P.; TOUYAMA, Y.; WILD, A. L.; PETERSON, A. T. Geographical potential of Argentine ants (*Linepithema humile* Mayr) in the face of global climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2004.

SGRO, C. M.; TERBLANCHE, J. S.; HOFFMANN, A. A. What can plasticity contribute to insect responses to climate change? *Annual Review of Entomology*, v. 61, n. 1, p. 433-451, 2016.

SIMÕES, A. L. G.; POLASTRI, P.; VARESCHINI, D. T.; GIMENES, M. L.; SCHALCH, V. Panorama geral dos resíduos sólidos urbanos no âmbito mundial. In: 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu/PR (Brasil), p. 1-7, 2019.

SMITH, K. G. V. A manual of forensic entomology. British Museum (Natural History), University Printing House, Oxford (EN), 1986.

SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. 2005.

- TITLE, P. O.; BEMMELS, J. B. ENVIREM: an expanded set of bioclimatic and topographic variables increases flexibility and improves performance of ecological niche modeling. *Ecography*, v. 41, n. 2, p. 291-307, 2018.
- VASCONCELOS, S. D.; BARBOSA, T. M.; OLIVEIRA, T. P. B. Diversity of forensically-important dipteran species in different environments in northeastern Brazil, with notes on the attractiveness of animal baits. *The Florida Entomologist*, v. 98, n. 2, p. 770-775, 2015.
- WELLS, J. D.; GREENBERG, B. Interaction between *Chrysomya rufifacies* and *Cochliomyia macellaria* (Diptera: Calliphoridae): the possible consequences of an invasion. *Bulletin of Entomological Research*, v. 82, n. 1, p. 133-137, 1992.
- ZUMPT, F. *Myiasis in man and animals in the Old World*. Butterworths, London (EN), 1965.