

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
INSTITUTO DE CIÊNCIA BIOLÓGICAS  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**Maria Eduarda dos Santos Siconha**

**Modelagem de nicho climático e atualização da distribuição geográfica do  
gastrópode invasor *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758), no Brasil**

Juiz de Fora

2026

**Maria Eduarda dos Santos Siconha**

**Modelagem de nicho climático e atualização da distribuição geográfica do  
gastrópode invasor *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758), no Brasil**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Ciências  
Biológicas da Universidade Federal de Juiz  
de Fora, como requisito parcial para a  
obtenção do título de bacharel em Ciências  
Biológicas.

Orientadora: Dra. Sthefane D'ávila

Coorientador: Dr. Pedro Manuel Villa

Juiz de Fora

2026

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

Siconha, Maria Eduarda dos Santos.

Modelagem de nicho climático e atualização da distribuição geográfica do gastrópode invasor *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758), no Brasil / Maria Eduarda dos Santos Siconha. -- 2026.

61 f. : il.

Orientadora: Sthefane D'ávila

Coorientador: Pedro Manuel Villa

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas, 2026.

1. Modelos de Distribuição de Espécies. 2. Mollusca. 3. Mudanças Climáticas. 4. Adequabilidade de Nicho. 5. Espécie Exótica. I. D'ávila, Sthefane, orient. II. Villa, Pedro Manuel, coorient. III. Título.


**Maria Eduarda dos Santos Siconha**

**Modelagem de nicho climático e atualização da distribuição geográfica do  
gastrópode invasor *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758), no Brasil**


Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao curso de Ciências  
Biológicas da Universidade Federal de Juiz  
de Fora como requisito parcial à obtenção  
do título de bacharel em Ciências  
Biológicas.

Aprovada em 23 de janeiro de 2026


**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **STHEFANE DAVILA DE OLIVEIRA E PAULA**  
Data: 24/02/2026 20:11:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Dra Sthefane D'ávila - Orientador**  
**Universidade Federal de Juiz de Fora**

Documento assinado digitalmente  
 **IGOR MENILSON CORREIA**  
Data: 25/02/2026 10:34:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Me. Igor Menilson Correia**  
**Universidade Estadual de Santa Cruz**

Documento assinado digitalmente  
 **PEDRO MENDES DE SOUZA**  
Data: 25/02/2026 12:10:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Me. Pedro Mendes de Souza**  
**Universidade Federal de Juiz de Fora**

Dedico este trabalho aos meus pais, Wilson e Gislene, pelo amor incondicional, pelo apoio constante e por sonharem os meus sonhos comigo.

## **AGRADECIMENTOS**

Sou grata à professora Dr. Sthefane D'ávila por ter me recebido e acolhido no Museu de Malacologia da UFJF, por toda orientação oferecida desde 2022. Agradeço pela confiança, pela paciência, pelo apoio e incentivo. Agradeço ao professor Dr. Pedro Manuel Villa pela coorientação deste trabalho, pela disponibilidade, pela paciência em me esclarecer as muitas dúvidas e pela valiosa contribuição ao longo de todo processo.

Agradeço aos professores do curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora pela contribuição na minha formação acadêmica e pelo conhecimento compartilhado ao longo de minha graduação. Agradeço também, aos professores e funcionários do Centro de Ciências, em especial a Marco Escher, José Luiz, Fernando, Maria Alice e Adriano, bem como aos amigos e colegas, que impactaram diretamente a minha formação profissional e pessoal.

Sou imensamente grata aos meus pais, que nunca mediram esforços para que eu pudesse ter uma educação de qualidade. O amor e apoio de vocês é a base de tudo que conquistei até aqui. Agradeço aos meus amados avós, Maria, João e Nadir, que, apesar da distância, sempre me ofereceram carinho e incentivo. Gratidão aos meus tios, primos e a toda minha família pela compreensão da minha ausência e pelo apoio constante. Agradeço, em especial, a Matilde e João Victor, por ajudarem a diminuir a saudade de casa, e a Martha, Wander e Nina, que me acolheram como família.

Agradeço também ao meu melhor amigo e noivo, Arthur, por me fazer gostar ainda mais de Biologia, por compartilhar seus conhecimentos, pela paciência, pelo incentivo diário e por tornar a caminhada mais leve. Aos amigos e colegas que fizeram parte desse momento, em especial, Karol pelas inúmeras horas em ligações, pelos conselhos, pela amizade e pelo apoio; Yasmin, Felipe e João Victor por estarem lá desde o primeiro dia; Pietra, Caique, Pietro, Mariana, Carol, Gabriele e Matheus, por me receberem no grupo; Janine, Eduarda, Laura e Wanessa por deixarem a rotina do trabalho mais leve e divertida; Isabella e Carol pela companhia no dia a dia.

## RESUMO

*Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) é uma gastrópode terrestre nativo da região do Mediterrâneo, com registro de ocorrência em diversos continentes. Não há evidências claras de como ocorreu sua introdução no Brasil, e os impactos são poucos conhecidos. A integração de registros de ocorrência de coleções científicas e plataformas de ciência cidadã podem subsidiar estudos de Modelos de Distribuição de Espécies a fim de inferir padrões potenciais de dispersão atuais e futuras. Desse modo, esse estudo avaliou o padrão de distribuição atual da espécie no país e analisou a adequabilidade do habitat em diferentes cenários futuros de mudanças climáticas. Para isso, foram compilados 179 registros de ocorrência georreferenciados de *R. decollata* no Brasil, a partir da literatura, coleções científicas e base de dados online de biodiversidade. As análises de nicho climático utilizaram variáveis bioclimáticas projetadas para o cenário climático atual e futuros (2050 e 2090). Os resultados indicaram uma adequabilidade concentrada no Sudeste e Sul no cenário presente, em 2050 os modelos indicam que haverá uma expansão das áreas adequadas na região sul e em 2090 uma redução das áreas adequadas, aproximado do padrão atual. Embora *R. decollata* possa apresentar uma expansão moderada de áreas com alta adequabilidade, sua distribuição potencial tende a se estabilizar ou diminuir sob cenários mais aquecidos, permanecendo restrita a regiões com condições climáticas específicas. Este estudo evidencia a importância da integração entre dados de coleções biológicas e plataformas de ciência cidadã para a compreensão da distribuição atual e potencial de *R. decollata* no Brasil. Os padrões de adequabilidade identificados oferecem suporte à delimitação de áreas prioritárias para o monitoramento, favorecendo a redução de potenciais impactos ecológicos, econômicos e sanitários associados à presença da espécie.

Palavras-chave: Modelos de Distribuição de Espécies; Mollusca; Mudanças Climáticas; Adequabilidade de Nicho; Espécie Exótica.

## ABSTRACT

*Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) is a terrestrial gastropod native to the Mediterranean region, with recorded occurrences on several continents. There is no clear evidence of how it was introduced to Brazil, and its impacts are poorly known. The integration of occurrence records from scientific collections and citizen science platforms can support Species Distribution Modeling studies to infer potential patterns of current and future dispersal. Therefore, this study assessed the current distribution pattern of the species in Brazil and analyzed habitat suitability under different future climate change scenarios. For this purpose, 179 georeferenced occurrence records of *R. decollata* in Brazil were compiled from the literature, scientific collections, and online biodiversity databases. Climatic niche analyses used bioclimatic variables projected for the current and future climate scenarios (2050 and 2090). The results indicated a concentration of suitable areas in the Southeast and South under current conditions, an expansion of suitable areas in the South by 2050, and a reduction by 2090, approaching the present pattern. Although *R. decollata* may show a moderate expansion of highly suitable areas, its potential distribution tends to stabilize or decrease under warmer scenarios, remaining restricted to regions with specific climatic conditions. This study highlights the importance of integrating data from biological collections and citizen science platforms to understand the current and potential distribution of *R. decollata* in Brazil. The identified suitability patterns provide support for the delimitation of priority areas for monitoring, helping to reduce potential ecological, economic, and sanitary impacts associated with the species presence.

Keywords: Species Distribution Models; Mollusca; Climate Change; Niche Suitability; Exotic Species.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Histórico de ocorrência de <i>Rumina decollata</i> (Linnaeus, 1758) no Brasil e origem dos dados .....24
Figura 2a	– Distribuição geográfica de <i>Rumina decollata</i> (Linnaeus, 1758) no Brasil .....25
Figura 2b	– Figura ampliada da distribuição geográfica de <i>Rumina decollata</i> (Linnaeus, 1758) no Brasil .....25
Figura 3	- Distribuição geográfica por década de <i>Rumina decollata</i> (Linnaeus, 1758) no Brasil .....26
Figura 4	- Área de adequabilidade de <i>Rumina decollata</i> no Brasil (presente) ...27
Figura 5	- Importância das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho climático de <i>Rumina decollata</i> , no Brasil (presente) .....28
Figura 6	- Área de adequabilidade de <i>Rumina decollata</i> no Brasil no cenário futuro (2050) .....29
Figura 7	- Importância das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho climático de <i>Rumina decollata</i> , no Brasil (cenário futuro: 2050) .....30
Figura 8	- Área de adequabilidade de <i>Rumina decollata</i> no Brasil no cenário futuro (2090) .....31
Figura 9	- Importância das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho climático de <i>Rumina decollata</i> , no Brasil (cenário futuro: 2090) .....32

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BRT	Boosted Regression Trees
CMMPO	Coleção Malacológica Prof. Maury Pinto de Oliveira
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
GCM	Modelo de Circulação Global
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MaxEnt	Maximum Entropy
RF	Random Forest
ROC AUC	Receiver Operating Characteristic – Area Under the Curve
SDMs	Modelos de Distribuição de Espécies
SiBBr	Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira
SSP	Shared Socioeconomic Pathways
TSS	True Skill Statistic

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	15
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>17</b>
2.1	CONJUNTO DE DADOS .....	17
2.2	MAPEAMENTO E VALIDAÇÃO DA ÁREA DE OCORRÊNCIA .....	17
2.3	MODELAGEM DE NICHOS CLIMÁTICO .....	18
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>22</b>
3.1	CONJUNTO DE DADOS .....	22
3.2	REGISTRO TEMPORAL .....	22
3.3	DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA .....	24
3.4	DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL .....	26
3.5	MODELAGEM DE NICHOS CLIMÁTICO .....	27
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>3</b>
4.1	REGISTRO DE OCORRÊNCIA E CIÊNCIA CIDADÃ .....	33
4.2	MODELAGEM DE NICHOS CLIMÁTICO .....	34
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>
	<b>APÊNDICE A - Coleções malacológicas com <i>Rumina decollata</i> do Brasil</b> .....	<b>42</b>
	<b>APÊNDICE B - Base de dados</b> .....	<b>43</b>
	<b>APÊNDICE C - Variáveis climáticas extraídas do banco de dados WorldClim 2.1</b> .....	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE D - Resumo das métricas</b> .....	<b>57</b>
	<b>APÊNDICE E - Variáveis bioclimáticas (presente)</b> .....	<b>59</b>
	<b>APÊNDICE F - Presença e pseudo-ausência de <i>Rumina decollata</i> atual no Brasil</b> .....	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE G - Blocos espaciais de presença e pseudo-ausência utilizados na calibração do modelo</b> .....	<b>61</b>
	<b>APÊNDICE H - Comparativo da área de ocupação nos três cenários</b> .....	<b>62</b>

## 1 INTRODUÇÃO

*Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) é um gastrópode terrestre nativo da região do Mediterrâneo (Batts, 1957), no entanto, sua presença como espécie invasora tem sido documentada em diferentes países da América do Norte, América do Sul, Europa, África e Ásia (Batts, 1957; Selander; Kaufman, 1973; Prévot et al., 2014).

A espécie apresenta o hábito onívoro, se alimentando desde plantas, matéria orgânica em decomposição, até mesmo de outros moluscos (Batts, 1957; Reyna; Gordillo, 2018). Do ponto de vista morfológico, a espécie é caracterizada por apresentar uma concha enrolada em espiral, com quatro espiras em indivíduos adultos, medindo aproximadamente 3 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro (Batts, 1957). Os indivíduos jovens apresentam sete espiras, e ao atingirem a maturidade, passam por um processo de quebra da concha na quinta espira, resultando na morfologia típica observada nos adultos (Batts, 1957). Após a morte do animal, a concha adquire uma coloração branca opaca (Batts, 1957).

Além dessas características morfológicas, a espécie apresenta traços de história de vida e comportamentais que podem favorecer sua introdução, estabelecimento e dispersão em áreas não nativas. O hábito noturno e o comportamento de permanecer enterrada durante o dia, bem como a deposição de ovos no solo, podem dificultar a detecção de indivíduos adultos e ovos associados a mudas e plantas ornamentais, favorecendo sua introdução por meio do comércio de plantas (Batts, 1957; Selander; Kaufman, 1973).

Adicionalmente, a capacidade de realizar autofecundação, produzindo cerca de 30 ovos por ovipostura, que eclodem em até 36 dias (Batts, 1957; Selander; Kaufman, 1973), reforçam essa vantagem para o estabelecimento e dispersão. Após a eclosão, os indivíduos podem atingir o tamanho adulto e iniciar a cópula em até 10 semanas (Batts, 1957). O ciclo de vida relativamente curto, associado à possibilidade de reprodução a partir de um único indivíduo, aumenta significativamente o potencial de estabelecimento da espécie em áreas não nativas, mesmo a partir de um número reduzido de indivíduos.

No Brasil, não há registros na literatura que indiquem quando ou de que modo se deu a introdução de *R. decollata*. Possivelmente, sua introdução ocorreu de forma acidental por meio da importação de mudas e em solo de vasos com plantas ornamentais, como comumente observado em gastrópodes terrestres (Bergey et al.,

2014; Sánchez et al., 2025). Os impactos causados por essa espécie no Brasil ainda não foram propriamente estimados. Contudo, há registros de danos causados por *R. decollata* em regiões de produção de morango no sul do país (Landal et al., 2019), o que indica seu potencial como praga agrícola de relevância econômica.

Embora escassa, a literatura registra ocorrências de *R. decollata* no Brasil nos estados de São Paulo (Simone, 2006), Santa Catarina (Agudo-Padrón, 2008), Minas Gerais (Oliveira; Abreu, 2013), Paraná (Landal et al., 2019). Apesar desses registros, ainda há necessidade de ampliar o conhecimento sobre a distribuição da espécie no país, utilizando-se outras fontes de dados e abordagens que envolvam modelos de distribuição de espécies e modelagem ecológica. O conhecimento sobre os padrões atuais de distribuição, bem como a previsão de potenciais padrões de dispersão e distribuição futura dessa espécie são de grande importância para avaliar os possíveis impactos sobre a biodiversidade local e elaborar estratégias para o seu monitoramento e manejo (Coelho et al., 2018; Barbitta et al., 2020).

Espécies não nativas podem permanecer restritas ou pouco abundantes por longos períodos após sua introdução, mas mudanças ambientais podem favorecer sua expansão e eventual transição para o status de espécies invasoras, com impactos ecológicos e socioeconômicos significativos (Richardson et al., 2000; Blackburn et al., 2011). Entre os principais fatores que modulam esse processo estão as condições climáticas, que atuam como filtros ambientais determinando a sobrevivência, o crescimento populacional e a dispersão dessas espécies em áreas fora de sua região de origem (Lockwood et al., 2013; Bellard et al., 2012).

Para organismos ectotérmicos e dependentes de umidade, como gastrópodes terrestres, as variáveis climáticas associadas à temperatura, à precipitação e à sazonalidade hídrica exercem forte influência sobre os limites fisiológicos e a ocupação espacial, tornando esses grupos particularmente sensíveis a alterações ambientais (Pörtner et al., 2006; Chown et al., 2010). Assim, mudanças climáticas podem ampliar a adequabilidade ambiental de regiões anteriormente inóspitas, favorecendo o estabelecimento e a expansão de populações não nativas que antes se encontravam limitadas por restrições climáticas (Walther et al., 2009; Hellmann et al., 2008).

Nesse contexto, os Modelos de Distribuição de Espécies (SDMs) têm sido amplamente empregados como um arcabouço teórico e analítico para compreender de que maneira as variáveis climáticas definem o nicho ambiental de espécies não

nativas, bem como para identificar áreas com condições potencialmente favoráveis para sua distribuição tanto no clima atual quanto em cenários futuros (Elith; Leathwick, 2009; Guisan et al., 2017). Estudos aplicados a gastrópodes e outros invertebrados terrestres demonstram que SDMs permitem antecipar as regiões com maior suscetibilidade à expansão de espécies não nativas, mesmo antes da manifestação de impactos ecológicos evidentes, contribuindo para avaliações de risco e planejamento preventivo (Vogler et al., 2013; Zemanová et al., 2018).

As projeções de mudanças climáticas utilizadas em estudos ecológicos são fundamentadas nos principais caminhos representativos que descrevem possíveis trajetórias futuras do sistema climático global, incorporando interações entre desenvolvimento socioeconômico, emissões de gases de efeito estufa e respostas do clima (IPCC, 2021). Esses caminhos, conhecidos como *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs), representam cenários contrastantes de emissões e uso de recursos, permitindo avaliar respostas biológicas sob diferentes intensidades de aquecimento global (IPCC, 2021). Em cenários de altas emissões, como o SSP5-8.5, espera-se um aumento expressivo da temperatura média global, alterações nos regimes de precipitação e maior frequência de eventos extremos, fatores que atuam diretamente sobre os limites fisiológicos e ecológicos das espécies (Bellard et al., 2012; Walther et al., 2009).

Em SDMs, as variáveis climáticas associadas à temperatura média, extremos térmicos, precipitação total e sazonalidade climática figuram consistentemente entre os principais determinantes da adequabilidade de habitat, pois influenciam processos fundamentais como sobrevivência, reprodução e dispersão (Elith; Leathwick, 2009; Guisan et al., 2017). Assim, respostas não lineares, caracterizadas por ganhos iniciais de habitat seguidos de retração sob cenários mais extremos, são frequentemente observadas em projeções de distribuição futura, refletindo a interação entre tolerância climática, plasticidade ecológica e intensidade das mudanças ambientais (Gallien et al., 2010; Early et al., 2016).

Assim, a integração entre mudanças climáticas e biologia de invasões têm revelado que espécies não nativas frequentemente apresentam elevada plasticidade ecológica, o que pode facilitar sua persistência e expansão em cenários ambientais em transformação (Early et al., 2016; Gallien et al., 2010). Assim, abordagens baseadas em SDMs não se restringem à previsão de invasões já estabelecidas, mas também oferecem suporte conceitual para compreender quando e onde espécies não

nativas podem se tornar invasoras, fornecendo subsídios fundamentais para estratégias de monitoramento, manejo adaptativo e conservação da biodiversidade nativa (Bellard et al., 2012; Seebens et al., 2015).

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o padrão de distribuição atual de *Rumina decollata* no Brasil e analisar sua adequabilidade de habitat em diferentes cenários futuros de mudanças climáticas através da modelagem de distribuição de espécies.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Atualizar a distribuição geográfica de *R. decollata* no Brasil com base em registros confirmados provenientes de coleções científicas e de bancos de dados de biodiversidade, garantindo uma representação espacial contemporânea da espécie.
- Caracterizar os padrões espaciais e temporais de ocorrência de *R. decollata*, identificando tendências históricas de expansão e variações regionais.
- Modelar a adequabilidade de habitat de *R. decollata* através da modelagem de distribuição de espécies no presente e em cenários futuros de mudanças climáticas.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CONJUNTO DE DADOS

Para a construção do conjunto de dados utilizados neste estudo, dados de ocorrência de *R. decollata* foram compilados da literatura, bancos de dados de biodiversidade acessíveis *online* e da coleção malacológica Maury Pinto de Oliveira (CMMPO). Foram consultados os agregadores de dados de biodiversidade *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, <https://www.gbif.org>) e Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira (SiBBR, <https://sibbr.gov.br/>), bem como o banco de dados de ciência cidadã *iNaturalist* ([www.inaturalist.org](http://www.inaturalist.org)). As buscas foram realizadas utilizando filtros que limitaram a pesquisa para a espécie *Rumina decollata* e o território brasileiro.

Os dados obtidos foram organizados em uma planilha e submetidos a um processo de curadoria (Apêndice B). Registros duplicados, observações com identificação incorreta no *iNaturalist* e aqueles sem informações sobre o local de ocorrência foram excluídos. Para os registros que não possuíam coordenadas geográficas, mas apresentavam a localidade específica de coleta ou observação, o georreferenciamento foi realizado utilizando a plataforma do Google Earth. Durante o processo de curadoria, foi realizada a padronização no formato dos dados, buscando garantir consistência para as análises descritas a seguir.

### 2.2 MAPEAMENTO E VALIDAÇÃO DA ÁREA DE OCORRÊNCIA

A partir dos registros de ocorrência georreferenciados de *R. decollata* no Brasil, foi elaborado um mapa de distribuição geográfica, no software R (R Core Team, 2024), utilizando os pacotes *ggplot2* (Wickham, 2016) para a construção gráfica, *geobr* (Pereira; Gonçalves, 2025) para a obtenção das bases cartográficas oficiais do território brasileiro e *ggspatial* (Dunnington, 2025) para a inserção de elementos cartográficos.

Para o estudo de nicho climático, os registros de ocorrência passaram por uma etapa adicional de curadoria espacial, visando reduzir vieses amostrais e assegurar maior robustez às análises. Inicialmente, foram removidos os registros duplicados associados à mesma coordenada geográfica, resultando em um conjunto final de 136

registros. Esse procedimento foi adotado para minimizar a redundância espacial e evitar a super-representação de áreas intensamente amostradas.

Os pontos remanescentes foram avaliados quanto à sua consistência espacial por meio da inspeção visual da projeção dos registros sobre mapas do Brasil, permitindo a exclusão de ocorrências localizadas em áreas incompatíveis com a distribuição natural da espécie. Adicionalmente, foram descartados registros com baixa precisão espacial, como coordenadas excessivamente arredondadas, bem como ocorrências com inconsistências entre as coordenadas geográficas e a descrição da localidade nos metadados.

### 2.3 MODELAGEM DE NICHOS CLIMÁTICO

As variáveis bioclimáticas no cenário recente e cenários futuros utilizadas neste estudo foram obtidas a partir do WorldClim (versão 2.1 <https://www.worldclim.org/>) (Apêndice C), uma base de dados amplamente utilizado em modelagem de nicho ecológico e estudos de mudanças climáticas (Fick e Hijmans 2017). As variáveis foram baixadas utilizando o pacote *geodata* (Hijmans, 2023), dentre as 19 variáveis bioclimáticas disponíveis, foram selecionadas: temperatura média anual (BIO1), sazonalidade da temperatura (BIO4), temperatura mínima no mês mais frio do ano (BIO6), precipitação anual total (BIO12), coeficiente de variação mensal de precipitação (BIO15) e precipitação no trimestre com menor chuva (BIO17).

A seleção dessas variáveis baseou-se em sua relevância ecológica para Modelos de Distribuição de Espécies (SDMs), por representarem gradientes térmicos e hídricos críticos para a distribuição das espécies, bem como em critérios estatísticos, visando minimizar a multicolinearidade e evitar a inclusão de variáveis altamente correlacionadas.

Para esse fim, matrizes de correlação foram geradas para cada combinação de Modelo de Circulação Global (GCM) e recorte temporal, sendo identificados pares de variáveis com  $|r| > 0,7$ , seguindo limiares comumente aceitos (Dormann et al., 2013). As variáveis selecionadas apresentaram colinearidade baixa e consistente entre modelos e períodos. Foram observadas apenas ocorrências isoladas de correlação moderada, assegurando que os modelos de distribuição de espécies fossem interpretáveis e comparáveis entre cenários futuros (Elith e Leathwick, 2009; Thuiller et al., 2019).

Para minimizar vieses de amostragem associados a dados de presença apenas, foram gerados pontos de pseudo-ausência em número proporcional ao de registros de presença, utilizando o pacote *tidysdm* (Leonardi et al. 2024), conforme procedimento padrão em estudos de modelagem de nicho ecológico. A amostragem das pseudo-ausências considerou restrições espaciais e ambientais, evitando sobreposição com os pontos de presença e garantindo contraste ambiental entre áreas ocupadas e não ocupadas pela espécie. Posteriormente, os registros de presença e pseudo-ausência foram integrados em um conjunto de dados binário (presença = 1; pseudo-ausência = 0), utilizado na calibração dos modelos. Como controle de qualidade, mapas combinando pontos de presença e pseudo-ausência foram gerados (Apêndice F), permitindo a verificação visual da distribuição espacial equilibrada e da representatividade ambiental dos dados utilizados.

Foram utilizados modelos de distribuição de espécies para avaliar a adequabilidade do habitat sob as condições climáticas atuais e para realizar projeções em cenários climáticos futuros. As projeções consideraram dois horizontes temporais: meados do século (2041–2060), denominado 2050, e final do século (2081–2100), denominado 2090. A análise conjunta do cenário presente e de cenários futuros foi realizada para se compreender possíveis alterações na distribuição potencial de *R. decollata* no território brasileiro.

A calibração e a projeção dos modelos foram realizadas considerando a extensão espacial definida pelas Regiões Climáticas de Referência do IPCC, o que possibilita uma interpretação comparável dos resultados em escala subcontinental. Dentre os Modelos Climáticos Globais disponíveis, foi selecionado o modelo MIROC6 (*Model for Interdisciplinary Research on Climate*), em razão de seu sinal climático intermediário e de sua confiabilidade documentada em avaliações regionais. A utilização desse modelo permite evitar projeções excessivamente conservadoras ou extremas, proporcionando cenários mais equilibrados e realistas.

Para incorporar a incerteza associada às mudanças climáticas futuras, foi adotado o cenário SSP5-8.5 das Trajetórias Socioeconômicas Compartilhadas (*Shared Socioeconomic Pathways*), que representa um caminho de altas emissões de gases de efeito estufa, caracterizado por intenso uso de combustíveis fósseis e crescimento econômico desacompanhado de políticas climáticas eficazes. Esse cenário projeta aumentos expressivos na temperatura média global, além de mudanças nos regimes de precipitação e na frequência de eventos climáticos

extremos (IPCC, 2021), sendo particularmente relevante para avaliar respostas potenciais da espécie sob condições climáticas adversas.

O procedimento de modelagem foi conduzido no software R por meio do framework *tidysdm*, que fornece fluxos de trabalho transparentes e reproduzíveis para a modelagem de distribuição de espécies (Leonardi et al., 2024). Inicialmente, foram avaliados diferentes algoritmos com características complementares, incluindo Maximum Entropy (MaxEnt), Random Forest (RF) e Boosted Regression Trees (BRT) (Breiman, 2001; Phillips et al., 2006; Elith et al., 2008), com o objetivo de identificar a abordagem mais adequada para a predição da distribuição potencial de *R. decollata*.

Os modelos MaxEnt foram parametrizados com classes de resposta linear e quadrática e um multiplicador de regularização moderado ( $\beta = 2,375$ ), visando reduzir o sobreajuste e, ao mesmo tempo, preservar respostas ambientais biologicamente plausíveis para a espécie (Merow et al., 2013). Os modelos de Random Forest foram ajustados utilizando um valor de *mtry* igual a cinco variáveis por divisão, enquanto os modelos BRT foram calibrados com uma taxa de aprendizado baixa (0,0042), 2.000 árvores e profundidade máxima de 11, permitindo a detecção de relações não lineares complexas entre os preditores ambientais e os registros de ocorrência de *R. decollata* (Breiman, 2001; Elith et al., 2008).

Os modelos foram calibrados com 70% dos registros de ocorrência e avaliados com os 30% restantes, empregando um esquema de validação cruzada espacialmente explícito em cinco blocos (*5-fold cross-validation*), com o objetivo de minimizar os efeitos da autocorrelação espacial (Apêndice G) (Valavi et al., 2019; Leonardi et al., 2024). Adicionalmente, foi aplicada uma validação cruzada em dez partições (*10-fold cross-validation*) para avaliar a robustez dos modelos e reduzir a influência de vieses amostrais (Hijmans, 2012; Leonardi et al., 2024).

O desempenho dos modelos foi inicialmente avaliado com base em diferentes métricas. No entanto, as métricas ROC AUC (Receiver Operating Characteristic – Area Under the Curve) e TSS (True Skill Statistic), otimizada pelo critério de máxima sensibilidade e especificidade (Allouche et al., 2006), apresentaram maior consistência e capacidade discriminatória para *R. decollata*. A métrica ROC AUC foi utilizada para mensurar a habilidade dos modelos em distinguir áreas ambientalmente adequadas e inadequadas para a espécie de forma independente da definição de limiares, enquanto a métrica TSS foi empregada de maneira complementar por considerar simultaneamente sensibilidade e especificidade.

A comparação entre os algoritmos indicou que os modelos ajustados com MaxEnt apresentaram, de forma consistente, os maiores e mais estáveis valores de ROC AUC e TSS em todas as rodadas de modelagem. Com base nesse desempenho superior, apenas os modelos MaxEnt que atingiram valores acima dos limiares de confiabilidade ( $AUC > 0,7$  e  $TSS > 0,5$ ) foram selecionados para as projeções finais. As estimativas de adequabilidade ambiental de *R. decollata* foram obtidas por meio de uma abordagem de ensemble, construída exclusivamente a partir dos modelos MaxEnt com melhor desempenho, o que permitiu reduzir incertezas associadas a execuções individuais e aumentar a robustez das previsões espaciais (Araújo; New, 2007; Guisan et al., 2017). Finalmente se avaliou a contribuição relativa de variáveis climáticas na distribuição da espécie. As análises para o estudo de nicho climático foram realizadas no software R (R Core Team 2024).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 CONJUNTO DE DADOS

Foram compilados, ao todo, 179 registros de ocorrência de *Rumina decollata* no Brasil. Desse total, 06 registros foram provenientes do GBIF, 14 do SiBBr, 24 da CMMPO e 135 do *iNaturalist*. Os dados de ocorrência foram registrados como associados a espécimes preservados em coleções biológicas (GBIF, SiBBr, CMMPO) ou oriundos de observação humana (*iNaturalist*). No Apêndice A é apresentada a relação entre as instituições e a quantidade de registros de espécimes preservados. No Apêndice B estão compilados todos os dados de ocorrência utilizados neste estudo.

#### 3.2 REGISTRO TEMPORAL

A distribuição temporal das ocorrências de *R. decollata* no Brasil revela um aumento progressivo no número de registros ao longo dos anos (**Figura 1**). O registro mais antigo data de 1966 e corresponde a espécimes preservados em via seca na CMMPO. O lote é composto por cinco espécimes que foram coletados em novembro de 1966 por George Vaz, no bairro Ipiranga, no município de São Paulo. A ficha de coleta possui a observação “quintal de residência”.

Observa-se um aumento no número de registros de *R. decollata* a partir do ano de 2019. Esse aumento está associado com as observações humanas registradas na plataforma *iNaturalist* (**Figura 1**). Há um grande contraste com os números dos primeiros registros no país, os quais correspondem a poucas observações, em anos não consecutivos, associadas a espécimes preservados em coleções.

No ano de 2015, observa-se um pico no número de observações, este registro está associado a dados provenientes da CMMPO. Foram registrados 22 lotes na coleção, todos correspondentes a indivíduos coletados na mesma data e local. Cada indivíduo foi tombado como lote independente para fins de estudos de biologia molecular. Dessa forma, apesar do elevado número de observações associados ao ano de 2015, estes correspondem apenas a uma única ocorrência de *R. decollata* em coleções biológicas.

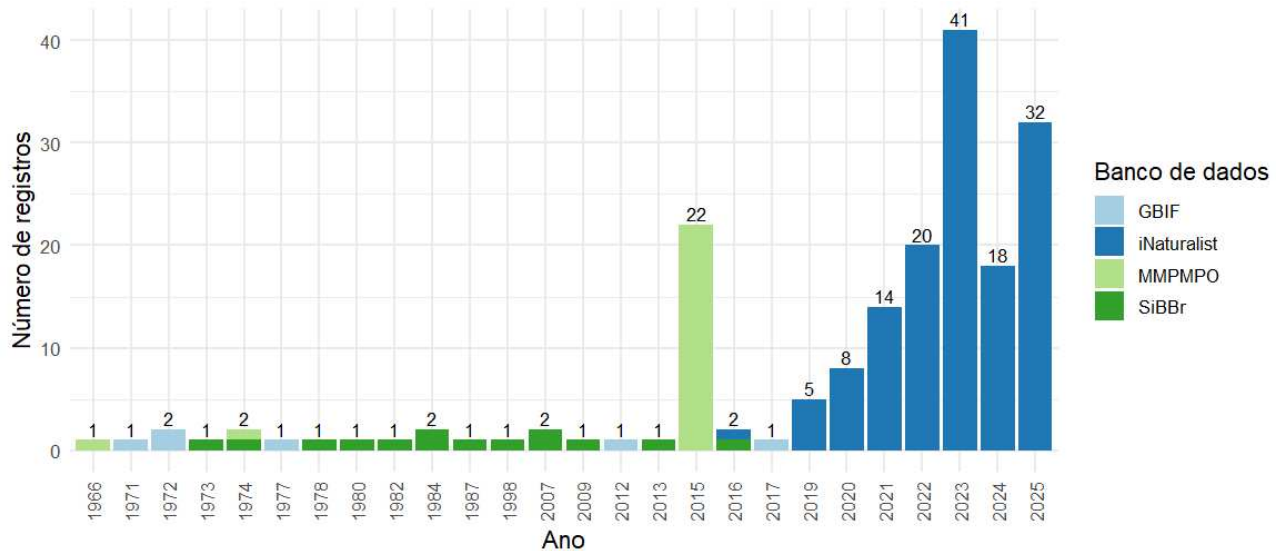
É possível observar, na **Figura 1**, que, desde o primeiro registro de ocorrência, em 1966, até 2017, os registros foram escassos, com apenas um a dois registros por ano. Nesse intervalo de 51 anos, registros de mais de uma ocorrência se deu apenas nos anos de 1974, 2007 e 2016. Em 1972 e 2007, embora constem duas ocorrências, ambas correspondem à mesma data e local, sendo considerados neste estudo como apenas uma ocorrência, assim como o ano de 2015.

Em 1974, os dois registros correspondem a dois lotes provenientes do Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP) e coleção malacológica Prof. Maury Pinto de Oliveira (CMMPO). O lote depositado no MZUSP, coletado por L. R. L. Simone, em 05 de maio, no Bairro do Belém, no município de São Paulo, é composto por oito indivíduos, com observação de que se tratava de indivíduos jovens. O lote depositado na CMMPO corresponde a seis indivíduos, coletados em 06 de abril, no município de São Caetano do Sul, em São Paulo.

Já em 2007, os dois registros são do MZUSP. O primeiro lote contém um espécime armazenado em via úmida (álcool 70%), coletado em 24 de janeiro, na Ilha do Castilho, em São Paulo, na Estação Ecológica dos Tupiniquins (ESEC), por Julio Avelar. O segundo lote, de 06 de abril, foi coletado por L. R. L. Simone, no Bairro do Belém, no município de São Paulo, composto por apenas um indivíduo.

No ano de 2016, os dois registros correspondem a uma observação humana e a um espécime preservado na coleção do MZUSP, sendo a primeira registrada na plataforma *iNaturalist*, em 13 de janeiro, no município de São Paulo. O segundo trata-se de um lote composto por um espécime preservado em via úmida (álcool 70%), depositado na coleção do MZUSP, coletado por Daniel Caracanhas Cavallari em 02 de março, no bairro do Ipiranga, no município de São Paulo.

**Figura 1** - Histórico de ocorrência de *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) no Brasil e origem dos dados

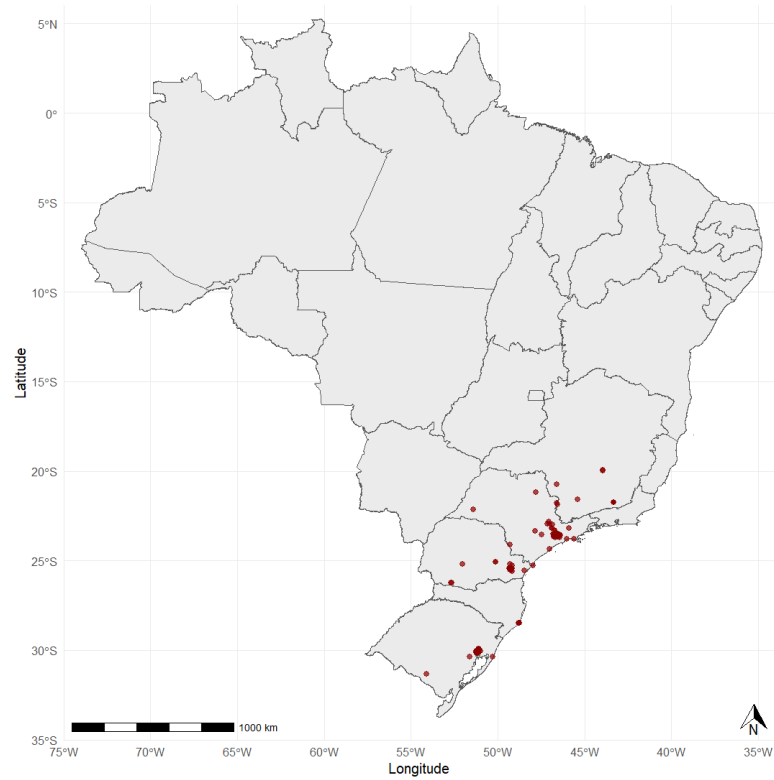


**Legenda:** GBIF - *Global Biodiversity Information Facility*; MMPMPO - Coleção Malacológica do Museu de Malacologia Prof. Maury Pinto de Oliveira; SiBBR - Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira

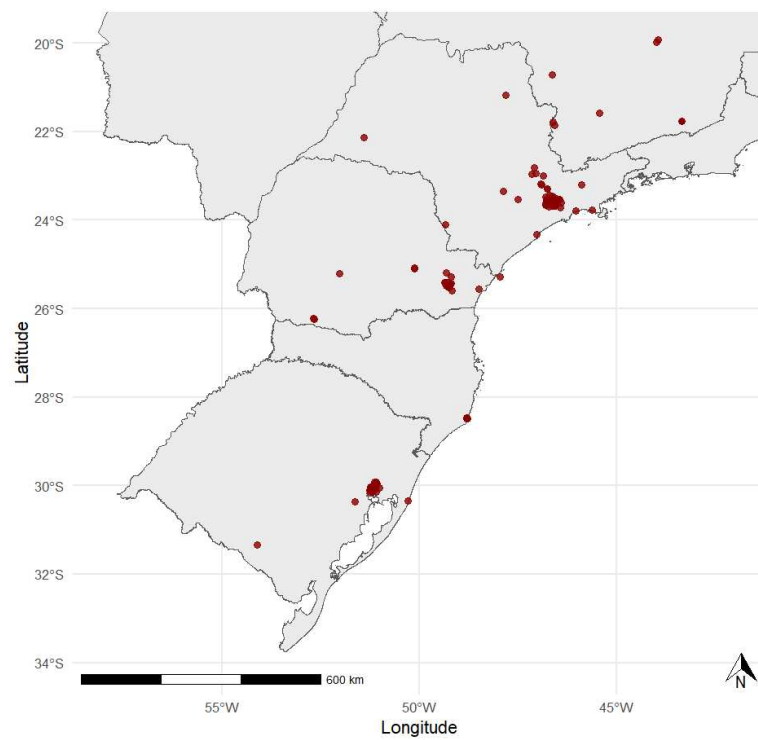
### 3.3 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

A distribuição geográfica de *R. decollata* no Brasil (**Figura 2a e 2b**) revelou a ocorrência da espécie em estados do Sudeste e Sul do país. O estado de São Paulo representa 51,96% do total dos registros analisados, sendo que apenas o município de São Paulo concentra 35,75% desses registros ( $n = 64$ ). Os demais registros distribuem-se entre os estados de Rio Grande do Sul (16,76%), Minas Gerais (15,64%), Paraná (11,17%), e Santa Catarina (4,47%).

**Figura 2a** - Distribuição geográfica de *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) no Brasil



**Figura 2b** - Figura ampliada da distribuição geográfica de *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) no Brasil



### 3.4 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL E ESPACIAL

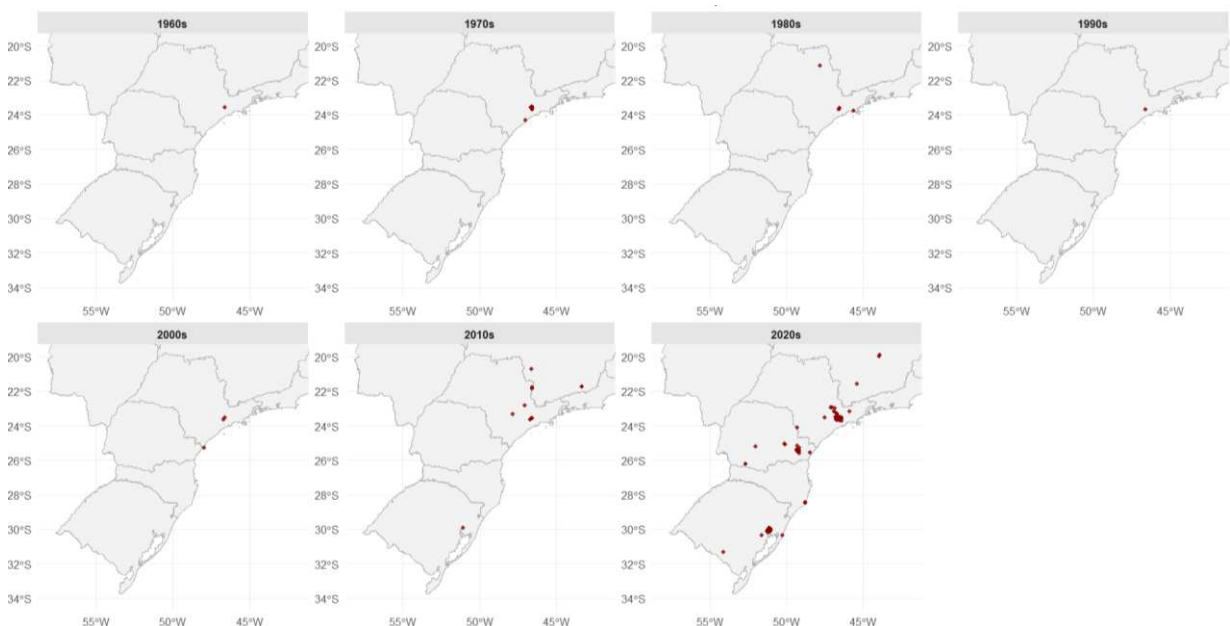
A Figura 3 representa a distribuição temporal e espacial de *Rumina decollata* ao longo das décadas, desde o primeiro registro na década de 1960 até a década atual. É possível observar que durante as primeiras cinco décadas a espécie esteve restrita ao estado de São Paulo, apresentando uma distribuição limitada durante o período.

Destaque para a década de 2000, onde há um registro próximo à divisa entre os estados de São Paulo e Paraná. Trata-se de um registro na Ilha do Castilho, próximo a cidade de Cananéia, o lote de um espécime coletado por Julio Avelar está alocado no MZUSP.

A partir da década de 2010 é possível observar novos registros além do estado de São Paulo, especificamente em Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Observa-se que não houve registro para os estados do Paraná e Santa Catarina nesse período, indicando lacunas amostrais.

Já na década de 2020 é possível observar registros expressivos em todos os estados do Sul e em Minas Gerais e São Paulo. Destaca-se um número maior de observações para os estados de São Paulo e Paraná.

**Figura 3** - Distribuição geográfica por década de *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) no Brasil



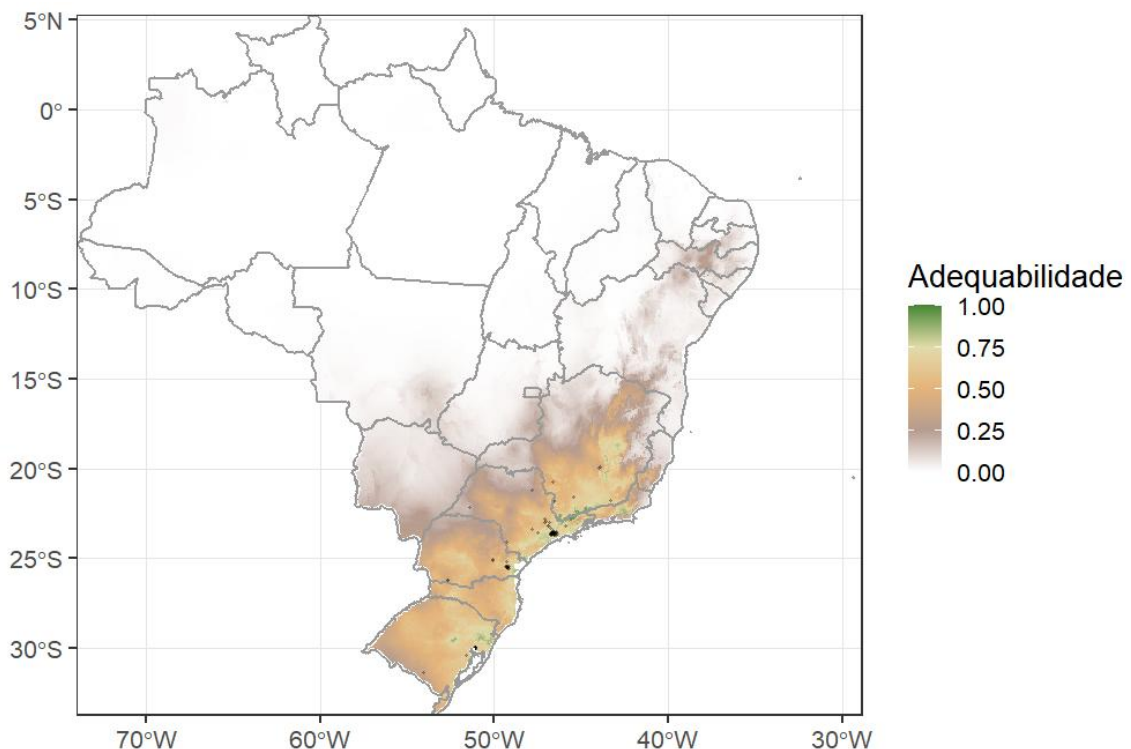
**Legenda:** a) 1960s; b) 1970s; c) 1980s; d) 1990s; e) 2000s; f) 2010s; g) 2020s

### 3.5 MODELAGEM DE NICHU CLIMÁTICO

Observa-se que *R. decollata* apresenta uma potencial de distribuição relativamente limitada no cenário climático presente. Aproximadamente 551.740,7 km<sup>2</sup> ( $\approx$  6,5%) do território brasileiro foram classificados como adequados à ocorrência da espécie, enquanto a maior parte do país não apresenta condições climáticas favoráveis.

Observa-se uma extensa área abrangendo as regiões Norte, Nordeste e grande parte do Centro-oeste com valores de adequabilidade muito baixos, próximos de zero. As áreas com adequabilidade moderada, em torno de 0,5 estão concentradas na região Sudeste, Sul e parte da região Centro-Oeste. Já as regiões de alta adequabilidade (valores superiores a 0,75) encontram-se predominantemente concentradas na região Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), com menor extensão no Sul (Rio Grande do Sul) do país (**Figura 4**).

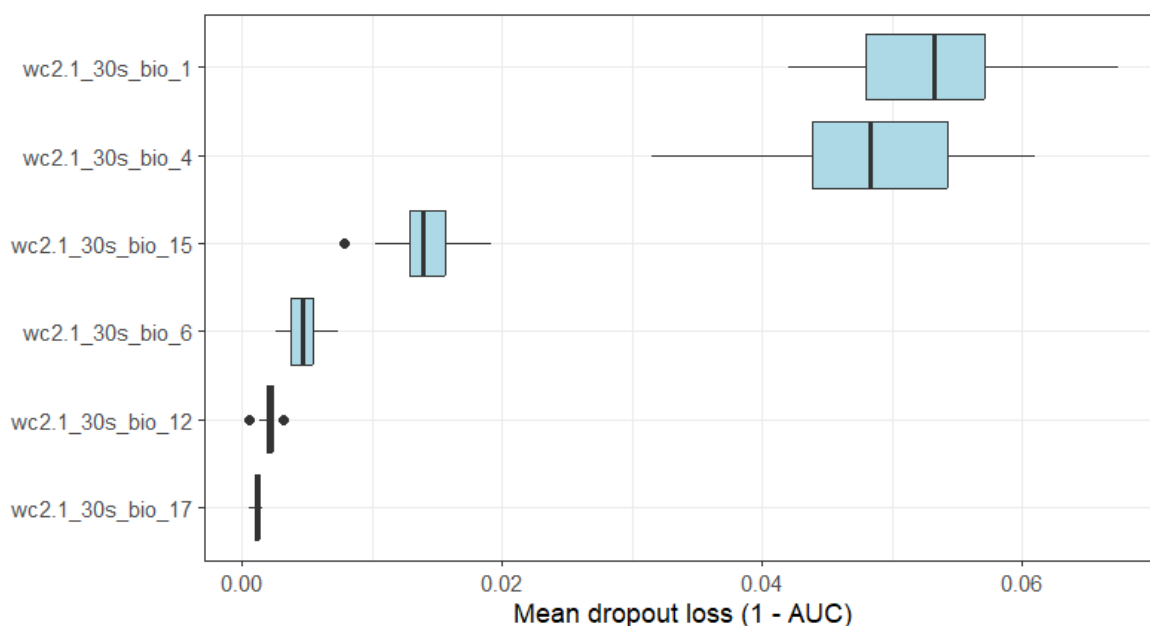
**Figura 4** - Área de adequabilidade de *Rumina decollata* no Brasil (presente).



**Legenda:** Os valores de 0–1 indicam a adequabilidade ambiental prevista para a espécie sob as condições climáticas atuais, em que as áreas em verde correspondem a habitats com alta adequabilidade e as áreas em tons de marrom a bege indicam adequabilidade baixa a muito reduzida.

Ao observar a importância das variáveis bioclimáticas utilizadas para estimar a área de adequabilidade no cenário presente, percebe-se que as variáveis temperatura média anual (BIO1) e sazonalidade da temperatura (BIO4) são as que mais contribuíram para a adequabilidade (**Figura 5**).

**Figura 5** - Importância das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho climático de *Rumina decollata*, no Brasil (presente)

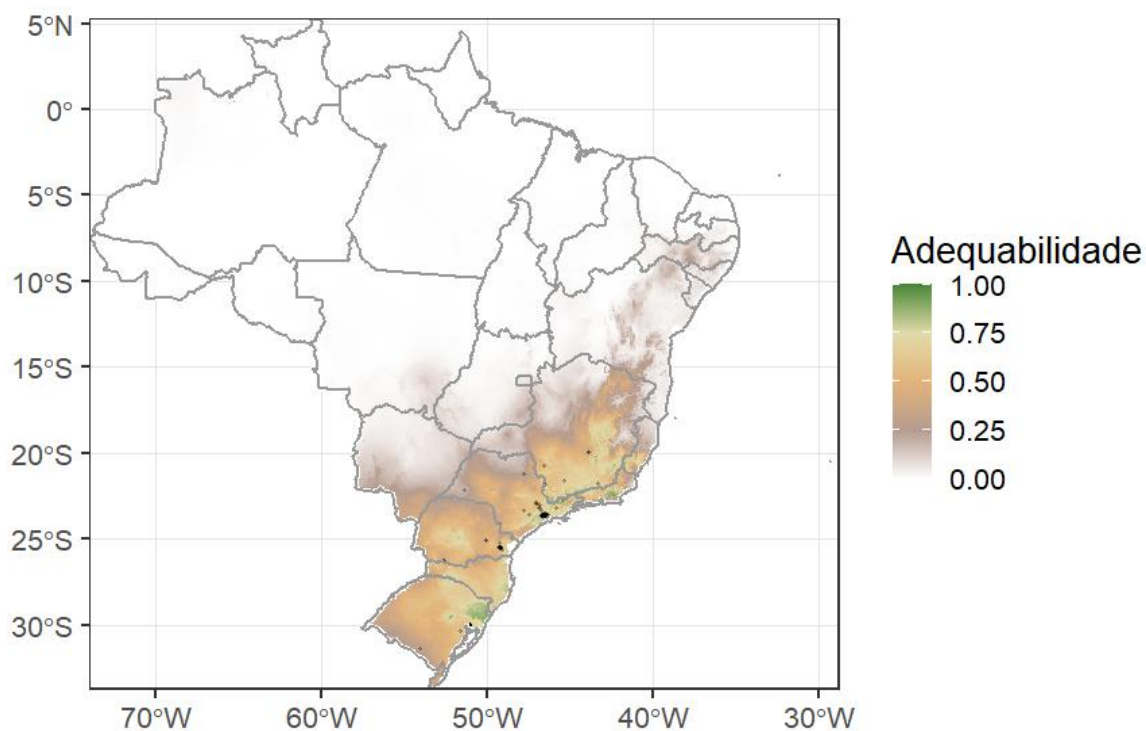


**Legenda:** Variáveis climáticas extraídas do WoldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) para o cenário atual. Temperatura média anual (wc2.1\_30s\_bio\_1); sazonalidade da temperatura (wc2.1\_30s\_bio\_4); temperatura mínima no mês mais frio do ano (wc2.1\_30s\_bio\_6); precipitação anual total (wc2.1\_30s\_bio\_12); coeficiente de variação mensal de precipitação (wc2.1\_30s\_bio\_15); precipitação no trimestre com menor chuva (wc2.1\_30s\_bio\_17).

No cenário futuro SSP5-8.5 para o período entre 2041 e 2060, observou-se discreto aumento da área de adequabilidade, que passou a abranger 586.291,5 km<sup>2</sup> do território nacional, representando um aumento de cerca de 0,4% (**Figura 6**). A distribuição das áreas de adequabilidade permaneceu semelhante ao observado para o cenário atual, com a predominância de áreas de baixa adequabilidade nas regiões Norte, Nordeste e grande parte do Centro-Oeste e a predominância de áreas de maior adequabilidade (superiores a 0,75) na região Sudeste (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) do país. Para o Sul (Rio Grande do Sul e Paraná) o modelo previu uma expansão da área de adequabilidade para a espécie.

A comparação entre o cenário atual e futuro de 2050 evidenciou uma permanência nas áreas adequadas do Sudeste, enquanto houve uma expansão das áreas de adequabilidade na região Sul.

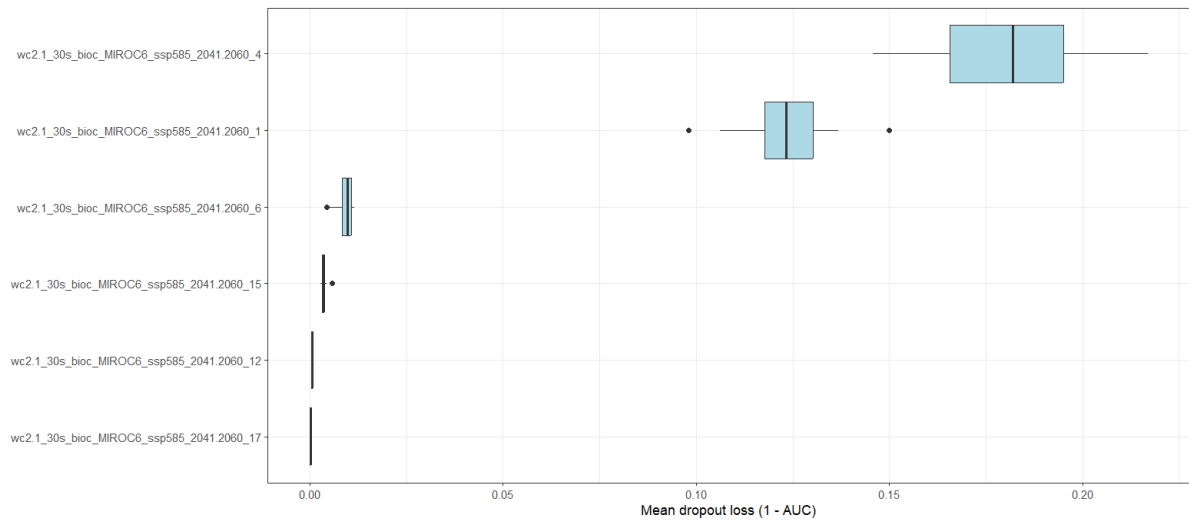
**Figura 6** - Área de adequabilidade de *Rumina decollata* no Brasil no cenário futuro (2050)



**Legenda:** Os valores de adequação (0–1) indicam a adequabilidade ambiental prevista para a espécie sob as condições climáticas futuras, 2050, em que as áreas em verde correspondem a habitats com alta adequabilidade e as áreas em tons de marrom a bege indicam adequabilidade baixa a muito reduzida.

No cenário futuro de 2050, as variáveis de sazonalidade da temperatura (BIO4) e temperatura média anual (BIO1) foram as que mais contribuíram para o modelo. Embora sejam as mesmas variáveis que exercem maior influência no cenário atual, observa-se que, neste cenário futuro, a BIO4 apresenta maior contribuição que BIO1 (**Figura 7**).

**Figura 7** - Importância das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho climático de *Rumina decollata*, no Brasil (cenário futuro: 2050)

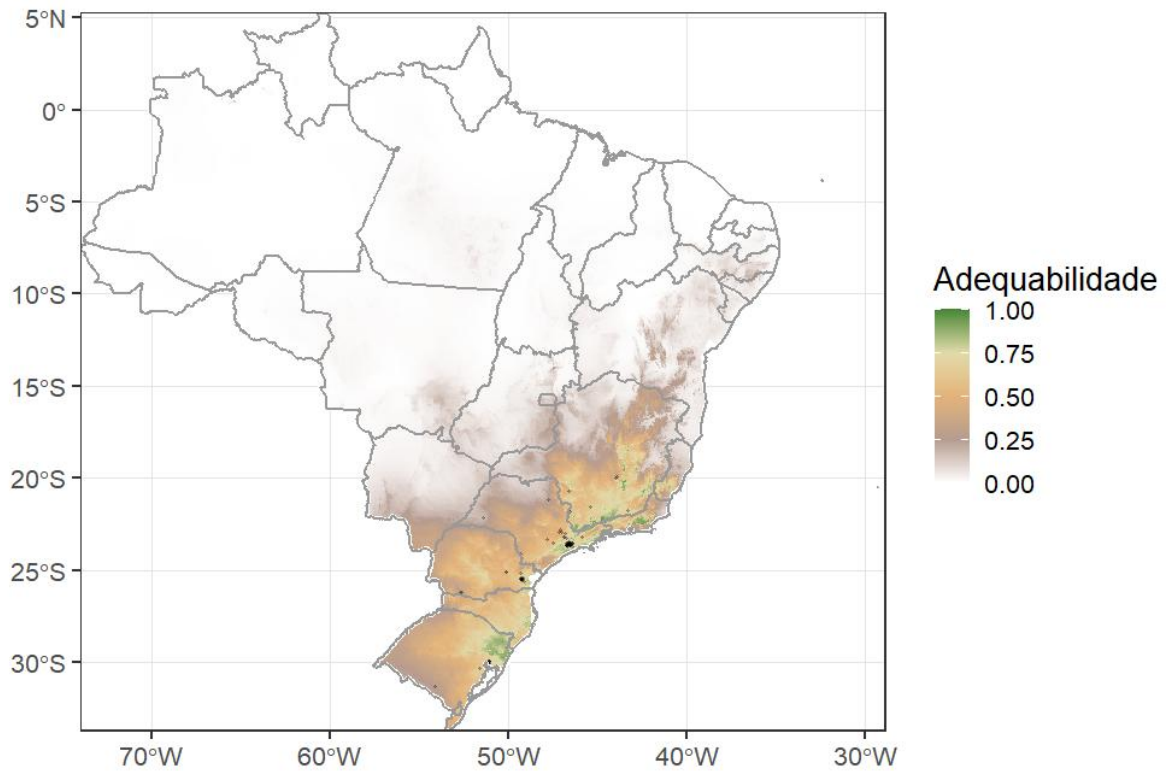


**Legenda:** Variáveis climáticas extraídas do WoldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) para o cenário de 2050. Temperatura média anual (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2041.2060\_1); sazonalidade da temperatura (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2041.2060\_4); temperatura mínima no mês mais frio do ano (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2041.2060\_6); precipitação anual total (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2041.2060\_12); coeficiente de variação mensal de precipitação (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2041.2060\_15); precipitação no trimestre com menor chuva (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2041.2060\_17).

No cenário futuro SSP5-8.5 para o período entre 2081 e 2100 (**Figura 8**), foi observada uma retração da área de adequabilidade, que passa a totalizar 551.023,4 km<sup>2</sup>, correspondendo a uma redução aproximada de 0,5% da taxa de ocupação em relação aos cenários anteriores.

Verifica-se em grande parte das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste a predominância de áreas com baixa adequabilidade climática, enquanto as áreas com alta adequabilidade predominaram na região Sudeste, embora com redução de sua extensão, enquanto no Sul do país manteve-se com áreas adequadas próxima ao cenário de 2050.

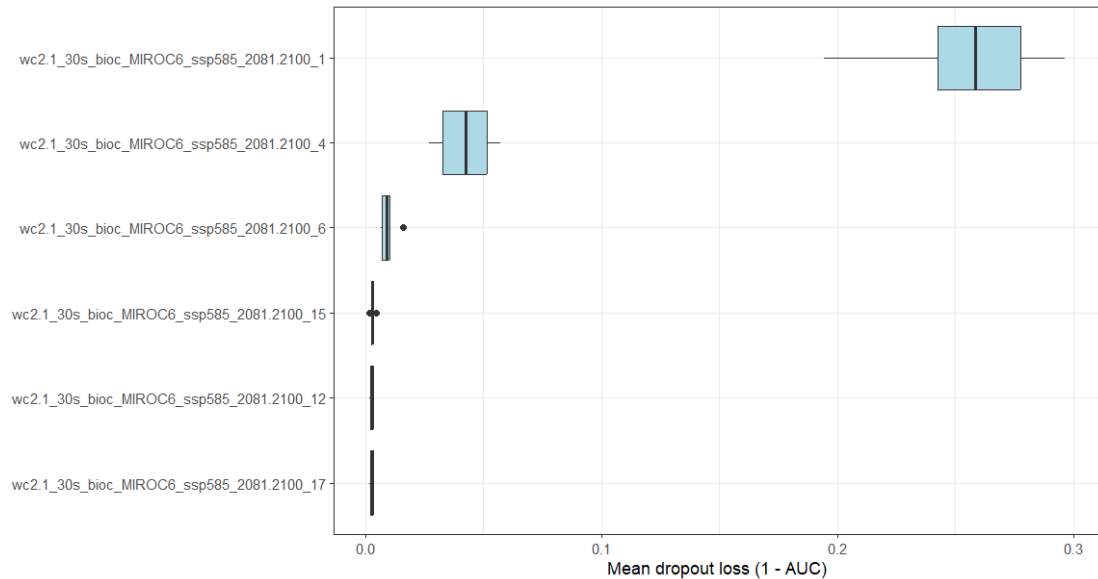
**Figura 8** - Área de adequabilidade de *Rumina decollata* no Brasil no cenário futuro (2090)



**Legenda:** Os valores de adequação (0–1) indicam a adequabilidade ambiental prevista para a espécie sob as condições climáticas futuras, 2090, em que as áreas em verde correspondem a habitats altamente adequados e as áreas em tons de marrom a bege indicam adequação baixa a muito reduzida.

As variáveis temperatura média anual (BIO1) e sazonalidade da temperatura (BIO4) permanecem sendo as principais responsáveis pela adequabilidade (**Figura 9**).

**Figura 9** - Importância das variáveis bioclimáticas para o modelo de nicho climático de *Rumina decollata*, no Brasil (cenário futuro: 2090)



**Legenda:** Variáveis climáticas extraídas do WorldClim ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)) para o cenário de 2090. Temperatura média anual (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2081.2100\_1); sazonalidade da temperatura (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2081.2100\_4); temperatura mínima no mês mais frio do ano (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2081.2100\_6); precipitação anual total (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2081.2100\_12); coeficiente de variação mensal de precipitação (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2081.2100\_15); precipitação no trimestre com menor chuva (wc2.1\_30s\_bioc\_MIROC6\_ssp585\_2081.2100\_17).

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 REGISTRO DE OCORRÊNCIA E CIÊNCIA CIDADÃ

A distribuição de *R. decollata* no Brasil, observada neste estudo, está associada predominantemente a áreas urbanas. Sendo consistente com registros descritos na literatura, que indicam a ocorrência do gastrópode fora de sua área nativa em ambientes antropizados, como jardins, plantas ornamentais e áreas residenciais (Selander; Kaufman, 1973; Reyna; Gordillo, 2018; Pizá et al., 2022). Nesse contexto, o monitoramento de suas populações se torna importante para o Brasil, visto que houve registro de nematoides associados a *R. decollata* (Cardillo et al., 2014; Cardillo et., al 2016), indicando um potencial risco à saúde humana.

O padrão de registros temporal de *R. decollata* no Brasil pode não refletir a realidade, uma vez que, possivelmente, nem todas as coleções científicas brasileiras foram digitalizadas ou tiveram seus dados disponibilizados nos bancos de dados acessados neste estudo, o que pode limitar as análises de amostragem espacial e temporal no país.

Ainda assim, é notável o contraste do número de registros de *R. decollata* nas coleções disponibilizadas, com os registrados na plataforma de ciência cidadã *iNaturalist*. Ao todo, foram 44 ocorrências (24,58%) da espécie em coleções, entretanto, ao considerar que os registros do ano de 2015 correspondem, na prática, a uma única ocorrência, esse número é reduzido para 23 registros efetivos. Em contraste, foram contabilizados 135 registros (75,42%) na plataforma *iNaturalist*. Ressalta-se que o *iNaturalist* foi criado em 2008, desde então, apenas 6 novos registros foram depositados em coleções biológicas.

Para que se possa compreender de forma ampla o cenário da distribuição do gastrópode invasor no país, é extremamente necessária a integração dos dados das coleções científicas com as plataformas de ciência cidadã. De acordo com Mason et al. (2025), o uso dos dados disponibilizados no *iNaturalist*, particularmente em estudos sobre modelos de distribuição de espécies e dinâmica de distribuição geográfica, cresceu 10 vezes na última década e esse crescimento acompanhou o aumento no número de observações incluídas na plataforma. Dados de ocorrência de espécies associados a observações humanas são especialmente importantes para o monitoramento e atualização da distribuição de espécies exóticas (Cull, 2025).

Nem sempre curadores de coleções biológicas estão dispostos a incluir e armazenar grande volume de lotes de espécies exóticas, nas coleções, considerando que o espaço disponível e recursos são limitados, levando-os a priorizar o depósito de espécies nativas. Os dados oriundos de observação humana apresentam vantagens tais como a rapidez na disponibilização dos registros de ocorrência, uma vez que as observações podem ser incluídas na plataforma imediatamente, por meio de um aplicativo; a disponibilização de imagens do organismo, o que facilita a confirmação da identificação taxonômica e a disponibilização de informações sobre a localidade específica de ocorrência, incluindo dados georreferenciados.

Entretanto, uma desvantagem dos dados de ocorrência oriundos de observação humana é o fato de que os espécimes geralmente não são coletados e armazenados em coleções biológicas e, para alguns taxa, a identificação taxonômica ao nível de espécie não pode ser realizada apenas por meio das características morfológicas externas do organismo, exigindo análises da anatomia interna e moleculares.

#### 4.2 MODELAGEM DE NICHOS CLIMÁTICO

Os resultados da modelagem de nicho climático indicam que a adequabilidade ambiental de *R. decollata* no Brasil apresenta um padrão temporal não linear sob o cenário de mudanças climáticas SSP5-8.5, caracterizado por uma expansão moderada até meados do século (2050), seguida por uma retração gradual até o final do século (2090). A ampliação da área climaticamente adequada observada para 2050, especialmente nas regiões Sul e Sudeste, sugere que o aumento inicial da temperatura média pode criar condições mais favoráveis para a espécie em áreas anteriormente limitadas por restrições térmicas, um padrão frequentemente observado em organismos ectotérmicos sob cenários de aquecimento moderado (Walther et al., 2009; Bellard et al., 2012).

No entanto, a posterior contração da adequabilidade até 2090 indica que o agravamento das condições climáticas, particularmente o aumento extremo das temperaturas e possíveis alterações nos regimes de precipitação, pode ultrapassar os limites fisiológicos da espécie, reduzindo a extensão de habitats ambientalmente adequados. Esse padrão pode estar relacionado ao fato de a espécie ter evoluído sob condições climáticas típicas do Mediterrâneo, caracterizadas por invernos úmidos e

verões quentes e secos (Lionello et al. 2006), ambiente no qual se estabeleceu seu nicho térmico e hídrico original (Batts, 1957). Assim, desvios acentuados dessas condições, particularmente sob cenários de aquecimento extremo, podem impor restrições fisiológicas que limitam a expansão da espécie em longo prazo.

Esse comportamento é coerente com a biologia de gastrópodes terrestres, organismos altamente dependentes de condições térmicas e hídricas específicas para manutenção do balanço hídrico, locomoção e reprodução (Pörtner et al., 2006; Chown et al., 2010). Incrementos excessivos de temperatura podem intensificar a perda de água por evaporação e aumentar o estresse fisiológico, limitando a sobrevivência mesmo em espécies com certa plasticidade ecológica. Embora *R. decollata* seja frequentemente citada como espécie não nativa com potencial invasor em diferentes regiões do mundo, ainda não há evidências suficientes que confirmem um comportamento invasivo consolidado no Brasil. Nesse contexto, os resultados sugerem que, apesar de uma possível expansão inicial de áreas adequadas, as mudanças climáticas mais intensas previstas para o final do século podem atuar como um fator limitante à sua expansão contínua, ao invés de favorecê-la.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo reuniu e analisou os registros de ocorrência de *Rumina decollata* no Brasil, a partir de dados de coleções científicas e plataforma de ciência cidadã. A espécie apresentou uma distribuição espacial predominantemente concentrada nas regiões Sudeste e Sul do país, com destaque para o estado de São Paulo, que concentrou mais da metade dos registros.

A diferença entre o número de registros associados às coleções científicas e à plataforma de ciência cidadã ressalta a importância desta como fonte de informação para o monitoramento de espécies exóticas e potencialmente invasoras. Uma vez que apresenta vantagens como a rápida disponibilização dos dados de ocorrência, ampla cobertura espacial e dados georreferenciados. Contudo, a ausência de espécimes testemunho associados às coleções biológicas podem restringir análises taxonômicas mais detalhadas.

A modelagem de nicho climático indicou que *R. decollata* apresenta, no cenário atual, adequabilidade ambiental concentrada principalmente nas regiões Sudeste (especialmente Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo) e em menor extensão no Sul, com ênfase no Rio Grande do Sul. No cenário de 2050 (SSP5-8.5), observou-se uma expansão moderada das áreas adequadas, sobretudo na região Sul, com aumento da adequabilidade no Paraná e manutenção das condições propícias no Sudeste. Essa expansão é compatível com um aumento inicial de temperatura média e redução de restrições térmicas nessas regiões. As variáveis climáticas relacionadas à temperatura média anual (BIO1) e à sazonalidade térmica (BIO4) permaneceram como os principais determinantes do padrão espacial de adequabilidade.

Para o cenário de 2090, a projeção indicou uma contração das áreas climaticamente adequadas, reduzindo a extensão observada em 2050 e aproximando-se novamente do padrão atual. A maior redução ocorreu no Sudeste, enquanto a região Sul manteve apenas parcelas das áreas anteriormente adequadas. Essa retração sugere que condições climáticas mais extremas previstas para o final do século ultrapassam limites fisiológicos associados ao balanço térmico e hídrico da espécie, resultando em diminuição da adequabilidade ambiental. De forma geral, os resultados sugerem que, embora *R. decollata* possa apresentar expansão moderada em meados do século, sua distribuição potencial tende a se estabilizar ou diminuir em

cenários mais aquecidos, permanecendo restrita a regiões com condições climáticas específicas.

Diante desses resultados, este estudo evidencia a importância da integração entre os dados provenientes de coleções biológicas e plataformas de ciência cidadã para a compreensão da distribuição atual e potencial de *Rumina decollata* no Brasil. Os padrões das áreas de adequabilidade identificadas indicam as regiões prioritárias para o monitoramento e manejo da espécie, contribuindo para a mitigação dos impactos ecológicos, econômicos e sanitários associados à presença da espécie.

## REFERÊNCIAS

- AGUDO-PADRÓN, A.I. Listagem sistemática dos moluscos continentais ocorrentes no estado de Santa Catarina, Brasil. **Comunicaciones de la Sociedad Malacológica del Uruguay**, v. 9, n. 91, p. 147–179, 2008.
- AGUDO-PADRÓN, A.I. Update of the non-marine (terrestrial & freshwater) molluscs systematic inventory occurring in Santa Catarina State/ SC, Central Southern Brazil region. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 7, n. 4, p. e73764–e73764, 18 out. 2024.
- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 12 set. 2006.
- ARAÚJO, M.; NEW, M. Ensemble forecasting of species distributions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 22, n. 1, p. 42–47, jan. 2007.
- AUGUSTA, C.; FERREIRA, P. Influência do substrato sobre crescimento, reprodução e mortalidade de *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) (Mollusca, Subulinidae) e da umidade sobre a eclosão da espécie. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1721–1730, nov. 2013
- BARBITTA, D.; CLAVIJO, C. ; CARRANZA, A. Ecoregional-level assessment of the potential distribution of the invasive apple snail *Pomacea maculata* Perry, 1810 (Gastropoda: Ampullariidae) setting geographically explicit priorities for the management of the invasion. **Russian Journal of Biological Invasions**, v. 11, n. 2, p. 172–181, 2020.
- BATTS, J. H. Anatomy and life cycle of the snail *Rumina decollata* (Pulmonata: Achatinidae). **The Southwestern Naturalist**, v. 2, n. 2/3, p. 74, abr. 1957.
- BELLARD, C. et al. Impacts of climate change on the future of biodiversity. **Ecology Letters**, v. 15, n. 4, p. 365–377, 18 jan. 2012.
- BERGEY, E. A. et al. Trading in snails: plant nurseries as transport hubs for non-native species. **Biological Invasions**, v. 16, n. 7, p. 1441–1451, 23 nov. 2013.
- BLACKBURN, T. M. et al. A proposed unified framework for biological invasions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 26, n. 7, p. 333–339, jul. 2011.
- BREIMAN, L. Random Forests. **Machine Learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, out. 2001.
- CARDILLO N et al. First report of *Aelurostrongylus abstrusus* in domestic land snail *Rumina decollata*, in the autonomous city of Buenos Aires. **InVet**, v. 16, n. 1-2, 1 jan. 2014.
- CARDILLO, N. et al. First report of *Toxocara cati* in the domestic land snail *Rumina decollata*. **Revista Argentina de Microbiología**, v. 48, n. 3, p. 206–209, 1 jul. 2016.
- CHOWN, S. et al. Adapting to climate change: a perspective from evolutionary physiology. **Climate Research**, v. 43, n. 1, p. 3–15, 5 ago. 2010.

COELHO, Paula. Updated distribution and range expansion of the gastropod invader *Melanoides tuberculata* (Müller, 1774) in Brazilian waters. **BioInvasions Records**, v. vol. 7, n. no. 4, p. p.p. 405-409, 2018.

CULL, Benjamin. Online Crowdsourced Data from iNaturalist Can Assist Monitoring of Invasive Mosquitoes. **Insects**, v. 16, n. 2, p. 128, 2025.

DORMANN, C. F. et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**, v. 36, n. 1, p. 27–46, 18 maio 2012.

DUNNINGTON, D. ggspatial: Spatial Data Framework for ggplot2. R package version 1.1.10, 2025.

EARLY, R. et al. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, ago. 2016.

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, 23 set. 2009.

ELITH, J.; LEATHWICK, J. R.; HASTIE, T. A working guide to boosted regression trees. **Journal of Animal Ecology**, v. 77, n. 4, p. 802–813, jul. 2008.

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, 15 maio 2017.

GALLIEN, L. et al. Predicting potential distributions of invasive species: where to go from here? **Diversity and Distributions**, v. 16, n. 3, p. 331–342, 13 abr. 2010.

GBIF - Global Biodiversity Information Facility. Copenhagen, 2001. Disponível em: <https://www.gbif.org/>. Acesso em 4 nov. 2025.

GOOGLE LLC. Google Earth Web. Mountain View, 2017. Disponível em: <https://earth.google.com/web/>. Acesso em: 12 nov. 2025

GUIBAN, A.; THUILLER, W.; ZIMMERMANN, N. E. Habitat suitability and distribution models. **Cambridge University Press**, 2017.

HELLMANN, J. J. et al. Five potential consequences of climate change for invasive species. **Conservation Biology**, v. 22, n. 3, p. 534–543, jun. 2008.

HIJMANS, R. J. Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. **Ecology**, v. 93, n. 3, p. 679–688, mar. 2012.

Hijmans, R. J. (2023). geodata: Download Geographic Data. R package version 0.5–15, 2025.

iNaturalist. San Rafael, 2008. Disponível em: <https://www.inaturalist.org>. Acesso em: 06 nov. 2025.

IPCC. **Climate Change 2021**: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

LANDAL, M. C. T. et al. Terrestrial gastropods as *Fragaria x ananassa* pests in southern Brazil: morphological identification. **Ciência Rural**, v. 49, 14 mar. 2019.

LEONARDI, M., et al.. tidysdm: Leveraging the flexibility of tidymodels for species distribution modelling in R. *Methods in Ecology and Evolution*, 15, 1789–1795. 2024

LINNAEUS, C.. *Systema Naturae per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis*. 10. ed. Estocolmo: Impensis Direct. Laurentii Salvii, 1758.

LIONELLO, P. et al, The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues. **Mediterranean**, v. 4, p. 1–26, 2006.

LOCKWOOD, J. L.; HOOPES, M. F.; MARCHETTI, M. P. *Invasion Ecology*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2013.

MASON, B.M., et al.. iNaturalist accelerates biodiversity research. **BioScience** v. 75, n. 11, p. 953-965, jul. 2025.

MEROW, C.; SMITH, M. J.; SILANDER, 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, 18 jun. 2013.

PEREIRA R., GONCALVES, C.. geobr: Download Official Spatial Data Sets of Brazil. R package version 1.9.1, 2024.

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, jan. 2006.

PIZÁ, J. et al. From the Mediterranean to Yungas and Patagonia. Dispersal of the non-native gastropod *Rumina decollata* in Argentina. **Biologia**, v. 78, n. 3, p. 865–871, 21 dez. 2022.

PÖRTNER, H. O. et al. Climate-induced temperature effects on ectotherm physiology. **Journal of Experimental Biology**, v. 209, p. 435–447, 2006.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. 2024

REYNA, P.; GORDILLO, S. First Report of the Non-Native Snail *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) (Subulinidae: Gastropoda) in Córdoba (Argentina): Implications for Biodiversity and Human Health. **American Malacological Bulletin**, v. 36, n. 1, p. 150–152, maio 2018.

RICHARDSON, D. M. et al. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. **Diversity and Distributions**, v. 6, n. 2, p. 93–107, mar. 2000.

ROOZBEH VALAVI et al. block CV : An r package for generating spatially or environmentally separated folds for k -fold cross-validation of species distribution models. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 2, p. 225–232, 1 fev. 2019.

SÁNCHEZ, O. et al. Slow invaders going fast: new data of exotic slugs (Gastropoda: Eupulmonata) from Spain. **Ecology and Evolution**, v. 15, n. 5, p. e71306–e71306, 1 maio 2025.

SEEBENS, H. et al. Global trade will accelerate plant invasions in emerging economies under climate change. **Global Change Biology**, v. 21, n. 11, p. 4128–4140, 22 set. 2015.

SELANDER, R. K.; KAUFMAN, D. W. Self-fertilization and genetic population structure in a colonizing land snail. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 70, n. 4, p. 1186–1190, 1973.

SIBBR - Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira. Brasília, 2023. Disponível em: <https://sibbr.gov.br/>. Acesso em: 10 nov. 2025.

SIMONE, L.R.L. **Land and freshwater molluscs of Brazil**: an illustrated inventory on the Brazilian malacofauna, including neighbor regions of South America, with respect to the terrestrial and freshwater ecosystems. São Paulo: Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 2006.

THUILLER, W. et al. Uncertainty in ensembles of global biodiversity scenarios. **Nature Communications**, v. 10, n. 1, 29 mar. 2019.

VOGLER, R. E. et al. The giant african snail, *Achatina fulica* (Gastropoda: Achatinidae): Using bioclimatic models to identify South American areas susceptible to invasion. **American Malacological Bulletin**, v. 31, n. 1, p. 39–50, jan. 2013.

WALTHER, G.-R. et al. Alien species in a warmer world: risks and opportunities. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 12, p. 686–693, dez. 2009.

Wickham H. ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Springer-Verlag New York. ISBN 978-3-319-24277-4, 2016.

WorldClim - Global Climate Data. Disponível em: <https://www.worldclim.org/>. Acesso em: 16 dez. 2025.

ZEMANOVA, M. A. et al. Slimy invasion: Climatic niche and current and future biogeography of Arion slug invaders. **Diversity and Distributions**, v. 24, n. 11, p. 1627–1640, 13 jun. 2018.

### APÊNDICE A - Coleções malacológicas com *Rumina decollata* do Brasil

Instituição	Sigla	Coleção	Número de registros
Academy of Natural Sciences - Philadelphia	ANSP	*	1
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade	ICMBio	*	1
Museu Nacional	MNRJ	Coleção de Mollusca do MNRJ	3
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	MZUSP	Coleção de Malacologia do MZUSP	13
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	PUCRS	Coleção de Moluscos PUCRS	1
Universidade Estadual de Campinas	UNICAMP	Coleção de Gastropoda do Museu de Zoologia da Unicamp	1
Universidade Federal de Juiz de Fora	UFJF	Coleção de Malacologia Prof. Maury Pinto de Oliveira	24

**Legenda:** \* Coleção não informada.

### APÊNDICE B - Base de dados

Instituição	Registro	Contagem individual	Ano	Local de ocorrência	Latitude	Longitude
Academy of Natural Sciences - Philadelphia	Espécime preservado	1	1977	São Paulo, SP	-23.682412	-46.595299
iNaturalist	Observação humana	*	2016	São Paulo, SP	-23.585498	-46.599011
iNaturalist	Observação humana	*	2019	Tatuí, SP	-23.347116	-47.856057
iNaturalist	Observação humana	*	2019	São Paulo, SP	-23.620923	-46.681380
iNaturalist	Observação humana	*	2019	Poço de Caldas, MG	-21.788174	-46.597885
iNaturalist	Observação humana	*	2019	São Paulo, SP	-23.635069	-46.708110
iNaturalist	Observação humana	*	2019	Poço de Caldas, MG	-21.854214	-46.564558
iNaturalist	Observação humana	*	2020	Campinas, SP	-22.941618	-47.027881
iNaturalist	Observação humana	*	2020	São Paulo, SP	-23.455639	-46.617082
iNaturalist	Observação humana	*	2020	São Paulo, SP	-23.534564	-46.453395
iNaturalist	Observação humana	*	2020	Porto Alegre, RS	-30.011087	-51.156803
iNaturalist	Observação humana	*	2020	Alvorada, RS	-30.003002	-51.085915
iNaturalist	Observação humana	*	2020	Porto Alegre, RS	-30.108779	-51.253026

iNaturalist	Observação humana	*	2020	Porto Alegre, RS	-30.058296	-51.203471
iNaturalist	Observação humana	*	2020	Ponta Grossa, PR	-25.070796	-50.116895
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Paulo, SP	-23.580024	-46.615930
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Paulo, SP	-23.611349	-46.688647
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Paulo, SP	-23.611349	-46.688647
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Paulo, SP	-23.614012	-46.686982
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Paulo, SP	-23.611349	-46.688647
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Bernardo do Campo, Sp	-23.667507	-46.584976
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São José dos Pinhais, PR	-25.586709	-49.155140
iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Paulo, SP	-23.549246	-46.562773
iNaturalist	Observação humana	*	2021	Viamão, RS	-30.059896	-51.114022
iNaturalist	Observação humana	*	2021	Porto Alegre, RS	-30.040073	-51.184766
iNaturalist	Observação humana	*	2021	Curitiba, PR	-25.491950	-49.304360
iNaturalist	Observação humana	*	2021	Curitiba, PR	-25.507088	-49.268512
iNaturalist	Observação humana	*	2021	Paranaguá, PR	-25.554545	-48.490513

iNaturalist	Observação humana	*	2021	São Paulo, SP	-23.529108	-46.438172
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.610945	-46.690003
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.610597	-46.690167
iNaturalist	Observação humana	*	2022	Rio Branco do Sul, PR	-25.187289	-49,313967
iNaturalist	Observação humana	*	2022	Curitiba, Pr	-25.457205	-49.294395
iNaturalist	Observação humana	*	2022	Osasco, SP	-23.535005	-46.769733
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.610505	-46.689828
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.445709	-46.675173
iNaturalist	Observação humana	*	2022	Porto Alegre, RS	-30.105222	-51.241612
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.559973	-46.695437
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.560049	-46.695395
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.560078	-46.695383
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.559993	-46.695435
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.559991	-46.695456
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.560097	-46.695422

iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.560054	-46.695418
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.560096	-46.695503
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23,560041	-46.695303
iNaturalist	Observação humana	*	2022	São Paulo, SP	-23.574625	-46.729626
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Porto Alegre, RS	-29.990299	-51.119006
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.659704	-46.769974
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.563486	-46.721010
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Santo André, SP	-23.678769	-46.536706
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Varginha, MG	-21.584118	-45.423164
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.529148	-46.438242
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Francisco Morato, SP	-23,286473	-46,742412
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Francisco Morato, SP	-23,289627	-23,289627
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.485584	-46.797904
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Porto Alegre, RS	-30.150666	-51.159508
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Cachoeirinha, RS	-29.956696	-51.110107

iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.565992	-46.770730
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Curitiba, PR	-25.418997	-49.348338
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Porto Alegre, RS	-30.150699	-51.159389
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Porto Alegre, RS	-30.150661	-51.159501
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.588252	-46.612095
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.588252	-46.612095
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.612860	-46.611144
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.612860	-46.611144
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.622745	-46.759267
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.576729	-46.569436
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Belo Horizonte, MG	-19.975698	-43.968269
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.586268	-46.631935
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Cotia, SP	-23.625358	-46.783642
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23,586268	-46,631935
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Cachoeirinha, RS	-29.945281	-51.078487

iNaturalist	Observação humana	*	2023	Curitiba, PR	-25.509808	-49.248652
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Pato Branco	-26.219551	-52.677747
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Curitiba, PR	-25.492697	-49.236953
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Porto Alegre, RS	-30.035791	-51.121803
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.563486	-46.721010
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Cachoeirinha, RS	-29.951802	-51.075526
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Porto Alegre, RS	-30.059656	-51.174572
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Bagé, RS	-31.333227	-54.106536
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.666424	-46.778891
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Santo André, SP	-23.672349	-46.543981
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Porto Alegre, RS	-30.036818	-51.208989
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São Paulo, SP	-23.610387	-46.689737
iNaturalist	Observação humana	*	2023	Curitiba, PR	-25.418996	-49.348338
iNaturalist	Observação humana	*	2023	São José dos Campos, SP	-23.192663	-45.887725
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Curitiba, PR	-25.417331	-49.289762

iNaturalist	Observação humana	*	2024	Ribeirão Pires, SP	-23.716583	-46.423068
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Porto Alegre, SP	-30.070200	-51.179350
iNaturalist	Observação humana	*	2024	São Paulo, SP	-23.560603	-46.590066
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Curitiba, PR	-25.456228	-49.198339
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Porto Alegre, RS	-30.084815	-51.225684
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Laguna, SC	-28.460320	-48.793087
iNaturalist	Observação humana	*	2024	São Paulo, SP	-23.552470	-46.655688
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Sarandi, RS	-29.984075	-51.131529
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Porto Alegre, RS	-30.033791	-51.228477
iNaturalist	Observação humana	*	2024	São Paulo, SP	-23.618899	-46.637922
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Jundiaí, SP	-23.181238	-46.913242
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Porto Alegre, RS	-30.153361	-51.221674
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Porto Alegre, RS	-30.046258	-51.213108
iNaturalist	Observação humana	*	2024	São Paulo, SP	-23.610400	-46.689742
iNaturalist	Observação humana	*	2024	Belo Horizonte, MG	-19.919012	-43.938669

iNaturalist	Observação humana	*	2024	São Paulo, SP	-23.538635	-46.562675
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Curitiba, PR	-25.529423	-49.247761
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Campinas, SP	-22.955040	-47.134462
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Itararé, SP	-24.109721	-49.319725
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Palmares do Sul, RS	-30.350769	-50.279941
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Porto Alegre, RS	-30.019877	-51.172341
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Jundiaí, SP	-23.192634	-46.886999
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.601011	-46.398550
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Guarulhos, SP	-23.501456	-46.553907
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.548123	-46.486594
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.610475	-46.689847
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.561147	-46.469477
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.574614	-46.729187
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Ponta Grossa, PR	-25.088689	-50.114006
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.561028	-46.469642

iNaturalist	Observação humana	*	2025	Laguna, SC	-28.478243	-48.780481
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Sorocaba, SP	-23.531689	-47.495232
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Laguna, SC	-28.483439	-48.781631
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Laguna, SC	-28.480272	-48.782593
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Laguna, SC	-28.471616	-48.787901
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Laguna, SC	-28.471566	-48.787966
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Pato Branco, PR	-26.229909	-52.665931
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Porto Alegre, RS	-30.076531	-51.196123
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Laguna, SC	-28.475536	-48.783644
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Laguna, SC	-28.481512	-48.769567
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.693366	-46.705984
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Pinhais, PR	-25.432350	-49.193323
iNaturalist	Observação humana	*	2025	São Paulo, SP	-23.547583	-46.691192
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Mariana Pimentel, RS	-30.356838	-51.622245
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Itatiba, SP	-23.000479	-46.840209

iNaturalist	Observação humana	*	2025	Canoas, RS	-29.915112	-51.126025
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Curitiba, PR	-25.501486	-49.234936
iNaturalist	Observação humana	*	2025	Curitiba, PR	-25.501486	-49.234936
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade	Espécime preservado	1	2009	São Paulo, SP	-23.635254	-46.692067
Museu Nacional	Espécime preservado	3	1972	São Paulo, SP	-23.527746	-46.631107
Museu Nacional	Espécime preservado	5	1972	São Paulo, SP	-23.590522	-46.643472
Museu Nacional	Espécime preservado	7	1971	São Paulo, SP	-23.562006	-46.688443
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	1984	São Caetano do Sul, SP	-23.624885	-46.564908
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	2007	São Paulo, SP	-23.547083	-46.591199
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	8	1974	São Paulo, SP	-23.547083	-46.591199
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	50	1973	São Paulo, SP	-23.682412	-46.595299
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	1998	São Paulo, SP	-23.682412	-46.595299

Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	2013	Passos, MG	-20.723276	-	46.6146444
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	14	1984	São Caetano do Sul, SP	-23.624885	-46.564908	
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	2016	São Paulo, SP	-23.584399	-46.602200	
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	1980	Ribeirão Preto, SP	-21.175303	-47.801294	
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	2007	Cananéia, SP	-25.273545	-47.955186	
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	1978	Peruíbe, SP	-24.329752	-47.015813	
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	1	1982	São Sebastião, SP	-23.776427	-45.620550	
Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo	Espécime preservado	19	1987	São Paulo, SP	-23.682412	-46.595299	
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Espécime preservado	1	2012	Cachoeirinha, RS	-29.915380	-51.095106	
Universidade Estadual de Campinas	Espécime preservado	1	2017	Campinas, SP	-22.819389	-47.069528	
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	5	1966	São Paulo, SP	-23.584399	-46.602200	
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	6	1974	São Caetano do Sul, SP	-23.617238	-46.575844	



Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055
Universidade Federal de Juiz de Fora	Espécime preservado	1	2015	Juiz de Fora, MG	-21.756290	-43.333055

**Legenda:** \* Não se aplica.

## APÊNDICE C - Variáveis climáticas extraídas do banco de dados WorldClim 2.1

Sigla	Variável
BIO1	Temperatura média anual
BIO2	Amplitude média diurna
BIO3	Isotermacidade
BIO4	Sazonalidade da temperatura
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO7	Amplitude térmica anual
BIO8	Temperatura média do trimestre mais chuvoso
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio
BIO12	Precipitação anual
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade da precipitação
BIO16	Precipitação do trimestre mais chuvoso
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio

Fonte: WorldClim versão 2.1 ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org))

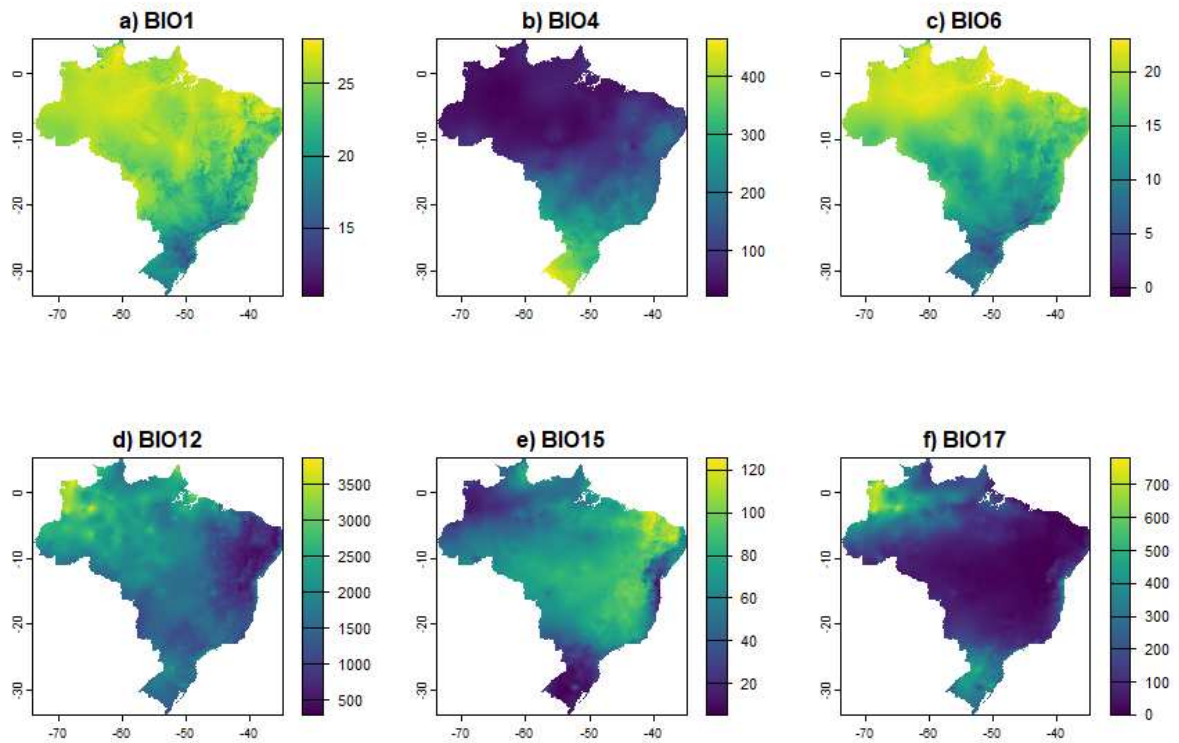
### APÊNDICE D - Resumo das métricas

Cenário	Algoritmos	Métrica	Média	Desvio	Fo ld
Presente	GBM	Boyce index	0,2485689376103	0,268487126209591	2
Presente	GBM	ROC AUC	0,56525974025974	0,10893456808862	2
Presente	GBM	TSS maximum	0,240995670995671	0,213858090857128	2
Presente	MaxEnt	Boyce index	0,616504805644762	0,17816222298731	2
Presente	MaxEnt	ROC AUC	0,645414862914863	0,121337154696099	2
Presente	MaxEnt	TSS maximum	0,480952380952381	0,140420586951689	2
Presente	Random Forest	Boyce index	-0,0291369191897898	0,318958179279524	2
Presente	Random Forest	ROC AUC	0,664859307359307	0,0290013938330549	2
Presente	Random Forest	TSS maximum	0,522034632034632	0,00758487392119619	2
2050	GBM	Boyce index	-0,0699263609403916	0,526200984526597	2
2050	GBM	ROC AUC	0,603715728715729	0,0514276495533307	2
2050	GBM	TSS maximum	0,28534632034632	0,136310664486221	2
2050	MaxEnt	Boyce index	0,551667614788764	0,163285710073825	2
2050	MaxEnt	ROC AUC	0,547886002886003	0,115804306364176	2
2050	MaxEnt	TSS maximum	0,40969696969697	0,145973117676253	2
2050	Random Forest	Boyce index	0,0895090987685183	0,364645763012694	2
2050	Random Forest	ROC AUC	0,641161616161616	0,0164025318504413	2
2050	Random	TSS	0,43021645021645	0,0343132821576981	2

	Forest	maximum			
2090	GBM	Boyce index	0,383145662036453	0,42364558191153	2
2090	GBM	ROC AUC	0,607655122655123	0,0391414112321369	2
2090	GBM	TSS maximum	0,22034632034632	0,126864779876377	2
2090	MaxEnt	Boyce index	0,624176949817425	0,0860326515633191	2
2090	MaxEnt	ROC AUC	0,598326118326118	0,0889857168022521	2
2090	MaxEnt	TSS maximum	0,418051948051948	0,0621814420600038	2
2090	Random Forest	Boyce index	0,624824179264371	0,22117155765081	2
2090	Random Forest	ROC AUC	0,643820346320346	0,0505186631314807	2
2090	Random Forest	TSS maximum	0,448030303030303	0,0761713883631172	2

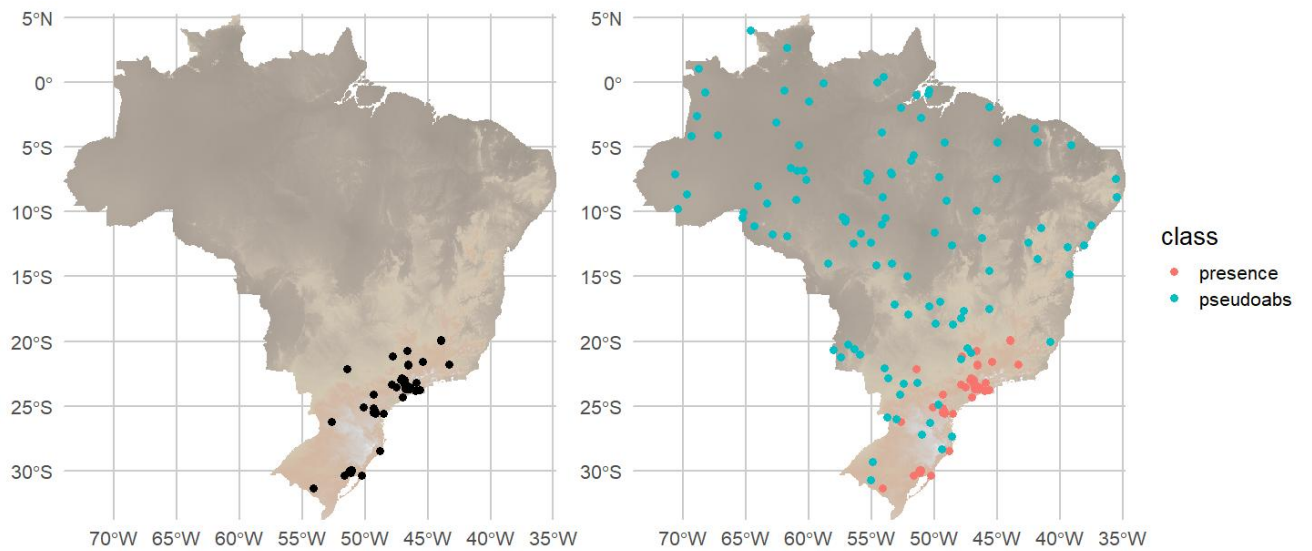
**Legenda:** GBM (*Gradient Boosting Machine*); MaxEnt (*Maximum Entropy Modeling*); Boyce index; ROC AUC (*Receiver Operating Characteristic - Area Under the Curve*); TSS maximum (*True Skill Statistic*).

## APÊNDICE E - Variáveis bioclimáticas (presente)



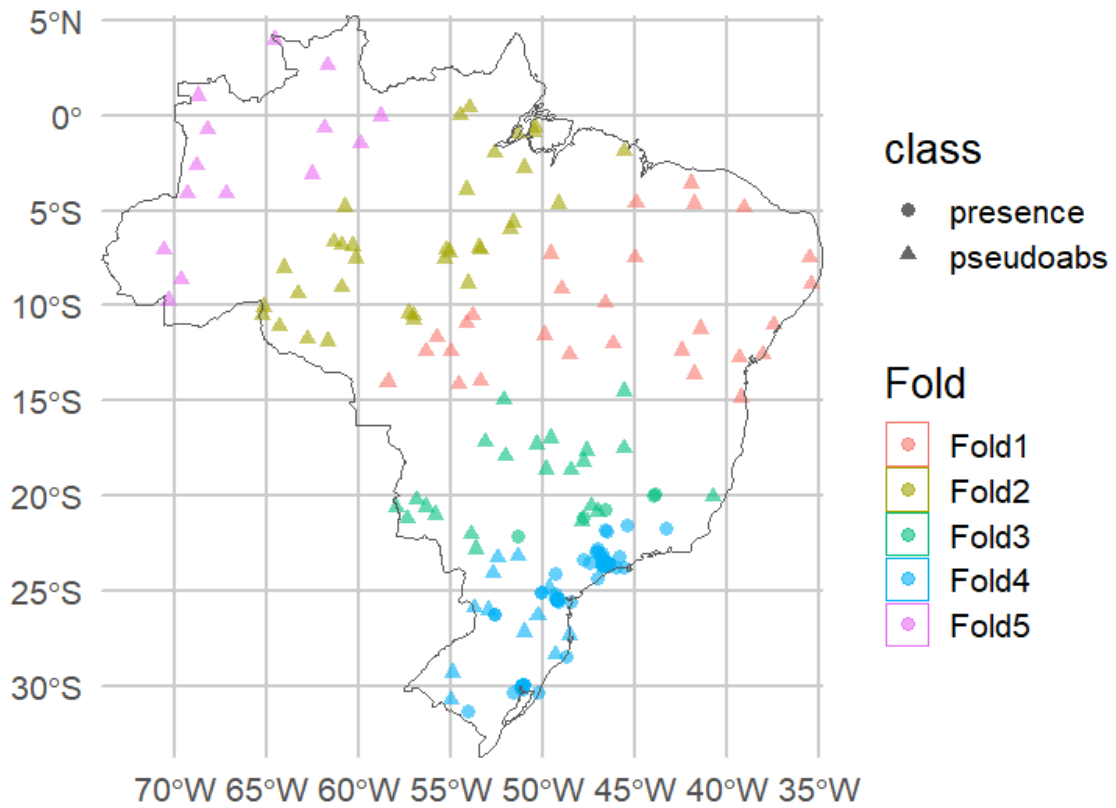
**Legenda:** a) BIO1: temperatura média anual (mm); b) BIO4: sazonalidade da temperatura; c) BIO6: temperatura mínima do mês mais frio (°C); d) BIO12: precipitação anual (mm); e) BIO15: sazonalidade da precipitação; f) BIO17: precipitação do trimestre mais seco (mm); Estas variáveis foram utilizada como preditoras nos modelos de distribuição das espécies, foram extraídas do banco de dados WoldClim 2.1 ([www.worldclim.org](http://www.worldclim.org)).

**APÊNDICE F - Presença e pseudo-ausência de *Rumina decollata* atual no Brasil**



**Legenda:** Presença (pontos pretos e vermelhos) e pseudo-ausência (pontos azuis).

**APÊNDICE G - Blocos espaciais de presença e pseudo-ausência utilizados na calibração do modelo**



**Legenda:** Presença: círculo, pseudo-ausência: triângulo; Distribuição espacial dos registros de presença e pseudo-ausência utilizados na calibração do modelo, organizados em cinco blocos espaciais (*Folds* 1-5).

**APÊNDICE H - Comparativo da área de ocupação nos três cenários**

Cenário	Limiar	Área total (km <sup>2</sup> )	Área adequada (km <sup>2</sup> )	Ocupação (%)
Presente	0,5	8.480.115	551.740,7	6,506
2050	0,5	8.480.115	586.291,5	6,914
2090	0,5	8.480.115	551.023,4	6,498