

ALLANA GRECCO GUEDES

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL GLOBAL DE *Anthonomus eugenii* (COLEOPTERA:
CURCULIONIDAE) NO CLIMA ATUAL E FUTURO USANDO APRENDIZADO DE
MÁQUINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Marcelo Coutinho Picanço

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G924d
2024

Guedes, Allana Grecco, 1999-

Distribuição potencial global de *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) no clima atual e futuro usando aprendizado de máquina / Allana Grecco Guedes. – Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (36 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Marcelo Coutinho Picanço.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Entomologia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 24-28.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.470>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Anthonomus eugenii* - Fatores climáticos. 2. MaxEnt (Software). 3. Nicho (Ecologia). 4. Curculionidae. I. Picanço, Marcelo Coutinho, 1958-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Entomologia. Programa de Pós-Graduação em Entomologia. III. Título.

CDD 22. ed. 595.768

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

ALLANA GRECCO GUEDES

DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL GLOBAL DE *Anthonomus eugenii* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) NO CLIMA ATUAL E FUTURO USANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Entomologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 22 de julho de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **ALLANA GRECCO GUEDES**
Data: 24/08/2024 16:36:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Allana Grecco Guedes
Autor

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO COUTINHO PICANÇO**
Data: 01/08/2024 11:19:28-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcelo Coutinho Picanço
Orientador

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por me permitir superar todos os obstáculos com saúde e determinação, possibilitando a realização deste trabalho.

Aos meus pais e irmãos, que me apoiaram e nunca me deixaram desistir, compreendo os meus momentos de ausência para seguir meus sonhos.

Ao professor Marcelo Coutinho Picanço, por ter sido meu orientador não apenas neste trabalho e no mestrado, mas em todos os meus anos de graduação, me guiando durante a minha formação pessoal e profissional.

A todo o Laboratório de Manejo Integrado de Pragas, em especial a Letícia Caroline da Silva Sant'Anna e Jhersyka da Silva Paes, por toda paciência, ajuda e apoio. Sem vocês não seria possível a realização deste trabalho.

A minha companheira Maura Gabriela da Silva Brochado, por ter sido a força base dentro e fora do ambiente acadêmico para a realização deste trabalho e de tantos outros.

Aos meus amigos, pela amizade incondicional, estando sempre ao meu lado e nunca desistindo de mim nos meus momentos mais difíceis.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Todos vocês foram de extrema importância não só para a realização deste trabalho, mas para que eu pudesse me tornar uma pessoa melhor. Deixo aqui o meu muito obrigada!

RESUMO

GUEDES, Allana Grecco, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2024. **Distribuição potencial global de *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) no clima atual e futuro usando algoritmo de aprendizado de máquina.** Orientador: Marcelo Coutinho Picanço.

Anthonomus eugenii (Coleoptera: Curculionidae) é uma praga de solanáceas que pode causar perdas de até 90%, sendo considerada quarentenária na África, América do Sul, Ásia, Europa e Oceania. Devido ao seu caráter quarentenário, é essencial prever as áreas com possível adequabilidade ecoclimática para a espécie e os fatores bioclimáticos reguladores de populações, o que é realizado por meio de modelos de nicho ecológico. Uma das formas de realizar essa previsão é a partir do algoritmo de aprendizado de máquina MaxEnt. Assim, esse trabalho teve o objetivo de prever a distribuição potencial global atual e futura mediante às mudanças climáticas com *A. eugenii* utilizando MaxEnt. As variáveis do modelo foram isothermalidade, precipitação pluviométrica do trimestre mais úmido, precipitação pluviométrica do mês mais seco, temperatura média do trimestre mais úmido e variação mensal da temperatura. O modelo teve área abaixo da curva de 0,947. O leste e sul dos Estados Unidos, México, América Central, centro da América do Sul, centro-sul da África, sudeste asiático e norte da Austrália são regiões que apresentam alta adequabilidade para *A. eugenii*. Prevê-se que em 2040 e 2080 ocorrerão aumento das áreas com alta adequabilidade ecoclimática à praga. Portanto, o modelo determinado neste trabalho é robusto para prever as áreas atuais e futuras do mundo favoráveis a *A. eugenii* auxiliando para a definição dos fatores favoráveis de ataque da praga e a melhor maneira de realizar o manejo fitossanitário, modulando as estratégias de Manejo Integrado de Pragas para a espécie.

Palavras chave: MaxEnt, cenários climáticos, modelo de nicho ecológico, Curculionidae, praga quarentenária.

ABSTRACT

GUEDES, Allana Grecco, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, July, 2024. **Global potential distribution of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) in current and future climate using machine learning algorithm.** Adviser: Marcelo Coutinho Picanço

Anthonomus eugenii (Coleoptera: Curculionidae) is a pest of solanaceous plants that can cause losses of up to 90%, being considered a quarantine pest in Africa, South America, Asia, Europe, and Oceania. Due to its quarantine status, it is essential to predict areas with potential ecoclimatic suitability for the species and the bioclimatic factors regulating populations, which is done through ecological niche models. One way to make this prediction is by using the MaxEnt machine learning algorithm. Thus, this study aimed to predict the current and future global potential distribution of *A. eugenii* under climate change using MaxEnt. The model variables were isothermality, precipitation of the wettest quarter, precipitation of the driest month, mean temperature of the wettest quarter, and monthly temperature variation. The model had an area under the curve of 0.947. The eastern and southern United States, Mexico, Central America, central South America, central-southern Africa, Southeast Asia, and northern Australia are regions with high suitability for *A. eugenii*. It is predicted that in 2040 and 2080, the areas with high ecoclimatic suitability for the pest will increase. Therefore, the model determined in this study is robust for predicting the current and future favorable areas for *A. eugenii* worldwide, aiding in defining favorable factors for pest attack and the best way to carry out phytosanitary management, modulating Integrated Pest Management strategies for the species.

Keywords: MaxEnt, climate scenarios, ecological niche model, Curculionidae, quarantine pest.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1. Coleta e filtragem dos dados	10
2.2. Determinação e validação do modelo de previsão	11
2.3. Projeções atuais e futuras da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo	12
3. RESULTADOS	13
4. DISCUSSÃO	21
5. CONCLUSÕES	23
6. REFERÊNCIAS	24
7. APÊNDICE	29

1. INTRODUÇÃO

Anthonomus eugenii Cano (Coleoptera: Curculionidae), conhecido como gorgulho do pimentão, é uma praga importante de plantas da família Solanaceae, sobretudo daquelas que pertencem aos gêneros *Capsicum* e *Solanum* (Adesso, 2007). Suas larvas broqueiam os frutos causando seu abortamento quando eles são pequenos e a perda do seu valor comercial quando eles possuem tamanho maior. Os adultos desse inseto perfuram o caule, folhas e frutos (Porter et al., 2007; Rodríguez-Leyva et al., 2007; Rubio-Aragón et al., 2022). O ataque dessa praga pode causar perdas de até 90% na produtividade (Rodríguez-Leyva et al., 2007). Além disso, *A. eugenii* é uma praga quarentenária ausente em países da Europa, América do Sul, África, Ásia e Oceania (EPPO, 2024a).

Os modelos de nicho ecológico determinam a probabilidade de adequação ecoclimática das áreas do mundo às pragas e os fatores bioclimáticos reguladores de suas populações (Drew et al., 2011; Silva et al., 2017; Santana Jr et al., 2019). O MaxEnt é uma ferramenta de aprendizado de máquina que propicia a estimativa da adequabilidade climática atual e futura com as pragas mediante as mudanças climáticas. A temperatura do ar, a precipitação pluviométrica e a altitude são utilizadas para determinar os modelos de nicho ecológico. Nesse programa são utilizadas onze variáveis da temperatura do ar, oito variáveis da precipitação pluviométrica e a altitude do local em metros (Phillips et al., 2017; Santana Jr et al., 2019).

Os elementos climáticos estão entre os principais fatores que regulam as populações de pragas (Wood, 2009). A temperatura do ar e a precipitação são os principais elementos que afetam as populações de insetos-praga (Price, 1997; Bacci et al., 2021).

A temperatura do ar é um fator crítico na história de vida dos insetos já que eles são organismos ectotérmicos (Barzegar et al., 2016). As variações térmicas determinam os limites das atividades biológicas dos insetos, estabelecendo os limiares mínimos e máximos, bem como a temperatura ideal para seus processos vitais (Roy et al., 2002; Barzegar et al., 2016). Entre esses processos estão a sobrevivência, reprodução e desenvolvimento dos insetos (Sánchez-Ramos et al., 2007; Chidawanyika, 2010). Dessa forma, o desenvolvimento ontogenético é influenciado por essas variações, impactando o tempo de geração e a taxa de crescimento populacional (Park et al., 2014; Liu et al., 2015; Martins et al., 2016), o que determina o sucesso ou fracasso das populações desses organismos.

A precipitação pluviométrica pode influenciar as populações de insetos-praga nas lavouras de maneira direta e indireta (Bacci et al., 2021; Zu et al., 2014). Diretamente, as chuvas intensas podem causar a morte dos insetos, seja pelo impacto direto ou pelas enxurradas, além de afetar a dispersão e criar condições microclimáticas desfavoráveis à sua sobrevivência (Pereira et al., 2007; Santos et al., 2020). Indiretamente, a precipitação pode impactar as plantas que servem de alimento para os insetos herbívoros. A disponibilidade de alimento pode ser reduzida por secas ou excesso de chuvas, enquanto condições mais úmidas podem favorecer a proliferação de predadores e parasitoides que controlam as populações de pragas. Além disso, a alta umidade pode promover o desenvolvimento de doenças nas plantas, tornando-as menos disponíveis ou mais suscetíveis ao ataque dos insetos (Chen et al., 2019; Karban et al., 2017).

Devido a crescente emissão de gases do efeito estufa estão acontecendo mudanças climáticas no mundo as quais afetam a vida dos organismos no nosso planeta (Lehmann et al., 2020; Soares et al., 2021). Em função disso estão ocorrendo modificações na adequabilidade ecológica das áreas do mundo às espécies, existindo áreas que estão se tornando mais adequadas à determinada espécie de inseto praga enquanto outras estão ficando menos adequadas (Lehmann et al., 2020; Santos et al., 2023).

De acordo com os planos de mitigação previstos para o futuro, a Organização Mundial das Nações Unidas (ONU) projeta diversos cenários de mudanças climáticas (Hayhoe et al., 2017; IPCC, 2021). Esses cenários incluem opções otimistas, como o SSP1-2.6, e pessimistas, como o SSP5-8.5. Nos cenários otimistas, assume-se que serão implementadas medidas significativas para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, resultando em um aquecimento global mais moderado, com um aumento nas temperaturas médias globais de aproximadamente 1,5 °C até 2100. Em contraste, nos cenários pessimistas, supõe-se a ausência de ações eficazes para mitigar as emissões, levando a um aquecimento global mais intenso, com um aumento das temperaturas médias globais de 5,8 °C até 2100 (IPCC, 2021).

Apesar da importância de *A. eugenii* até o momento não foram conduzidos estudos sobre as possíveis áreas de adequação climática desta praga para as regiões do mundo tanto no momento atual como futuro. Assim, o objetivo deste trabalho foi prever as áreas de possível adequação climática global atuais e futuras mediante

às mudanças climáticas com *A. eugenii* usando o modelo de aprendizado de máquina MaxEnt.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e filtragem dos dados

Os dados usados neste estudo foram os registros de ocorrência da praga no mundo, as variáveis climáticas e as altitudes dos locais destes registros. Os registros de ocorrência da praga foram obtidos em bases de dados como Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2024), European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO, 2024b), Center for Agriculture and Bioscience International (CABI, 2024) e o Google Scholar (Google Scholar, 2024). As coordenadas dos locais de registro de ocorrência da praga foram conferidas usando o software Google Earth Pro (versão 7.3). Foram coletados 347 pontos de ocorrência e os registros duplicados ou com inconsistências em suas coordenadas foram removidos, gerando 219 pontos de ocorrência (Tabela 1S). Foi selecionado apenas um registro de ocorrência da praga entre aqueles que estavam em locais com até 10 km de distância. Essa filtragem foi feita utilizando o software ArcGIS (versão 10.8.1) (Collins & Law 2022). Isso foi feito visando a redução dos erros associados ao modelo e aprimorar seu ajuste (Aiello-Lammens, 2014). Foram coletados os dados de 20 variáveis bioclimáticas (Tabela 1) do banco de dados do WorldClim (versão 2.1). Esses dados tinham uma resolução espacial de 2,5 minutos (~5 km) WorldClim (2024).

Tabela 1. Variáveis ambientais utilizadas para o modelo inicial de *Anthonomus eugenii*.

Código	Unidade	Variáveis ambientais
BIO_1	°C	Temperatura média anual
BIO_2	°C	Variação mensal da temperatura
BIO_3	%	Isotermalidade
BIO_4	°C	Sazonalidade da temperatura
BIO_5	°C	Temperatura máxima do mês mais quente
BIO_6	°C	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO_7	°C	Variação anual da temperatura
BIO_8	°C	Temperatura média do trimestre mais úmido
BIO_9	°C	Temperatura média do trimestre mais seco
BIO_10	°C	Temperatura média do trimestre mais quente
BIO_11	°C	Temperatura média do trimestre mais frio
BIO_12	mm	Total de precipitação pluviométrica anual
BIO_13	mm	Precipitação pluviométrica do mês mais chuvoso
BIO_14	mm	Precipitação pluviométrica do mês mais seco
BIO_15	mm	Sazonalidade da precipitação pluviométrica
BIO_16	mm	Precipitação pluviométrica do trimestre mais úmido
BIO_17	mm	Precipitação pluviométrica do trimestre mais seco
BIO_18	mm	Precipitação pluviométrica do trimestre mais quente
BIO_19	mm	Precipitação pluviométrica do trimestre mais frio
BIO_20	m	Altitude do local

2.2. Determinação e validação do modelo de previsão

Na determinação e validação do modelo foram utilizados os softwares MaxEnt (Maximum Entropy) versão 3.4.4 (Phillips et al., 2017) e R (versão 4.2.3 (R Core Team, 2024)). Foi determinado um modelo inicial utilizando as 20 variáveis bioclimáticas (Tabela 1). Foi realizada análise de correlação de Pearson entre as 20 variáveis bioclimáticas (Tabela 2S). Entre as variáveis que apresentaram correlação com valor de corte de módulo menor que 0,7 foi selecionada apenas aquela que apresentou maior contribuição percentual para o modelo inicial (Tabela 3S) (Kumar & Yee, 2014; Jarnevich et al., 2015).

A seguir foi selecionada a melhor configuração a ser usada no modelo. Isso foi feito usando o critério de informação de Akaike (AICc). Esta análise foi realizada usando o modelo ENMeval do R software (versão 4.2.3) (Muscarella et al., 2014; Brown et al., 2017). Foi selecionada a configuração do modelo que apresentou o menor valor de AICc (Muscarella et al. 2014; Aidoo et al., 2022). Os modelos com menores valores de AICc apresentam menores erros por subajustamento e por superajustamento (Low et al., 2021). Foi realizado o teste Jackknife para avaliar a contribuição de cada variável para o modelo (Figura 1S) (Phillips et al., 2017).

Na etapa de validação do modelo foram usados os critérios da área abaixo da curva (AUC) e da inclusão da região de origem da espécie nas áreas com alta adequabilidade ecoclimática do modelo. O modelo tem elevado desempenho quando ele apresenta AUC maior que 0,90 (Peterson et al., 2011; Aidoo et al., 2022). A determinação da AUC foi feita no MaxEnt usando o modelo e a configuração determinados anteriormente.

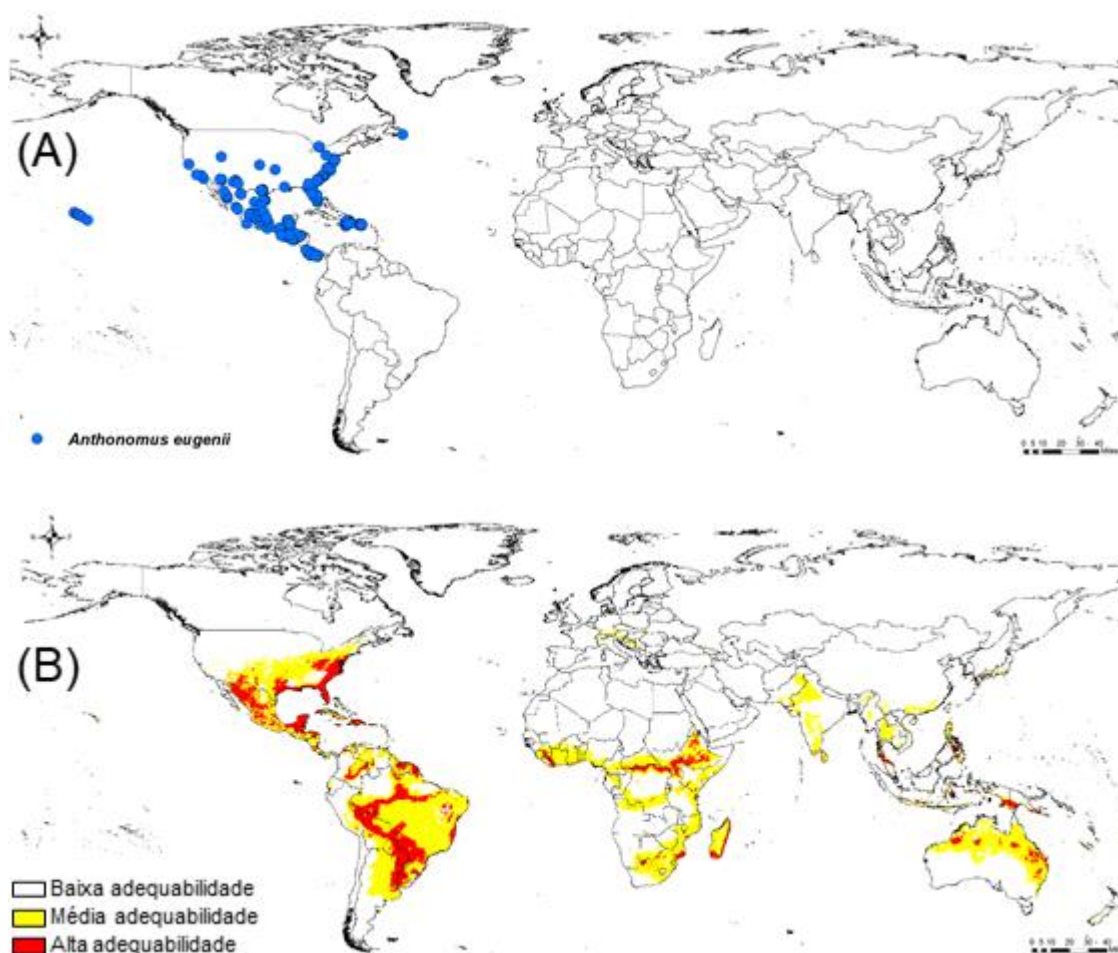
2.3. Projeções atuais e futuras da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo

Usando o modelo determinado neste trabalho foram confeccionados mapas da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo no momento atual e futuro. Esses mapas foram confeccionados usando o programa software ArcGIS (versão 10.8.1) (Collins & Law 2022). Nessas projeções foi usado o índice de adequação de probabilidade (IAP). Os valores desse índice variam de 0 (áreas inadequadas à espécie) a 1 (áreas com adequação máxima à espécie). No trabalho foram usadas três classes de adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo, a partir do teste de sensibilidade: inadequadas ($IAP \leq 0,4$), com média adequabilidade ($0,4 < IAP \leq 0,6$) e com alta adequabilidade ($IAP > 0,6$) (Mahatara et al., 2021).

Foram realizadas projeções para um futuro próximo (2040) e distante (2080). Essas projeções foram realizadas de acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (SSP1-2.6 e SSP5-8.5) do sexto relatório de avaliação (AR6) (IPCC, 2021). Nas projeções foram usados os cenários climáticos SSP1-2.6 e SSP5-8.5. O cenário SSP1-2.6 será referido como otimista e o cenário SSP5-8.5 como pessimista (Tabete et al., 2019).

3. RESULTADOS

Foram observados 219 registros de ocorrência de *Anthonomus eugenii* no mundo. Todos os locais de ocorrência da espécie estão situados nas Américas Central e do Norte (Figura 1A).



Adequabilidade ecoclimática	Áreas do mundo (%)
Alta	3,04
Média	7,68
Baixa	89,28

Figura 1. (A) Pontos de ocorrência e (B) áreas do mundo potencialmente adequadas para *Anthonomus eugenii* de acordo com o modelo determinado pelo software de aprendizado de máquina MaxEnt.

Na Tabela 2 estão listadas as variáveis iniciais e finais do modelo de nicho ecológico determinado para descrever a adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo à *A. eugenii*. As variáveis do modelo final foram isothermalidade (BIO 3) com 42,2% de contribuição, precipitação pluviométrica do trimestre mais úmido (BIO 16) com 23,7% de contribuição, precipitação pluviométrica do mês mais seco (BIO 14) com 18,5% de contribuição, temperatura média do trimestre mais úmido (BIO 8) com 8,2% de contribuição e variação mensal da temperatura (BIO 2) com 7,4% de contribuição.

Tabela 2. Contribuição das variáveis ambientais do modelo final de descrição da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo a *Anthonomus eugenii*.

Código	Variáveis ambientais	Contribuição (%)
Bio 3	Isotermalidade (%)	42,2
Bio 16	Precipitação pluviométrica do trimestre mais úmido (mm)	23,7
Bio 14	Precipitação pluviométrica do mês mais seco (mm)	18,5
Bio 8	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)	8,2
Bio 2	Variação mensal da temperatura (°C)	7,4

Entre as 30 configurações testadas para o modelo foi selecionada aquela com combinações de classes de recursos linear (L), quadrática (Q), dobradiça (H) e produto (P), e valor do multiplicador de regulação igual a um. Essa configuração foi a que apresentou menor valor para o critério de informação de Akaike (AIC = 5571,045) (Tabela 3). O modelo final de adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo a *A. eugenii* apresentou a área sob a curva (AUC) de 0,947 com desvio padrão de 0,011 (Figura 2).

Tabela 3. Seleção da configuração ideal para o modelo de descrição da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo a *Anthonomus eugeni* com base no critério de informação de Akaike (AIC) no ENMeval.

Classificação	Combinações de classes* de recursos	Multiplicador de regulação	AIC
1	LQHP	1	5571,045
2	LQHPT	1	5571,365
3	LQHPT	2	5605,872
4	LQHP	2	5606,032
5	LQH	1	5613,999
6	H	1	5615,861
7	LQHPT	3	5631,936
8	LQHP	3	5635,504
9	LQH	2	5637,267
10	LQH	3	5655,662
11	LQHP	4	5656,77
12	H	2	5657,555
13	LQHPT	4	5658,819
14	LQHP	5	5669,233
15	LQHPT	5	5669,234
16	LQH	4	5676,272
17	H	3	5687,69
18	LQH	5	5692,022
19	H	4	5716,155
20	H	5	5730,759
21	LQ	1	5776,879
22	LQ	2	5804,557
23	LQ	3	5824,743
24	LQ	4	5838,919
25	LQ	5	5853,221
26	L	2	5915,715
27	L	3	5916,331
28	L	4	5917,045
29	L	1	5917,228
30	L	5	5917,874

L = linear, Q = quadrática, H = dobradiça, P = produto e T = limiar.

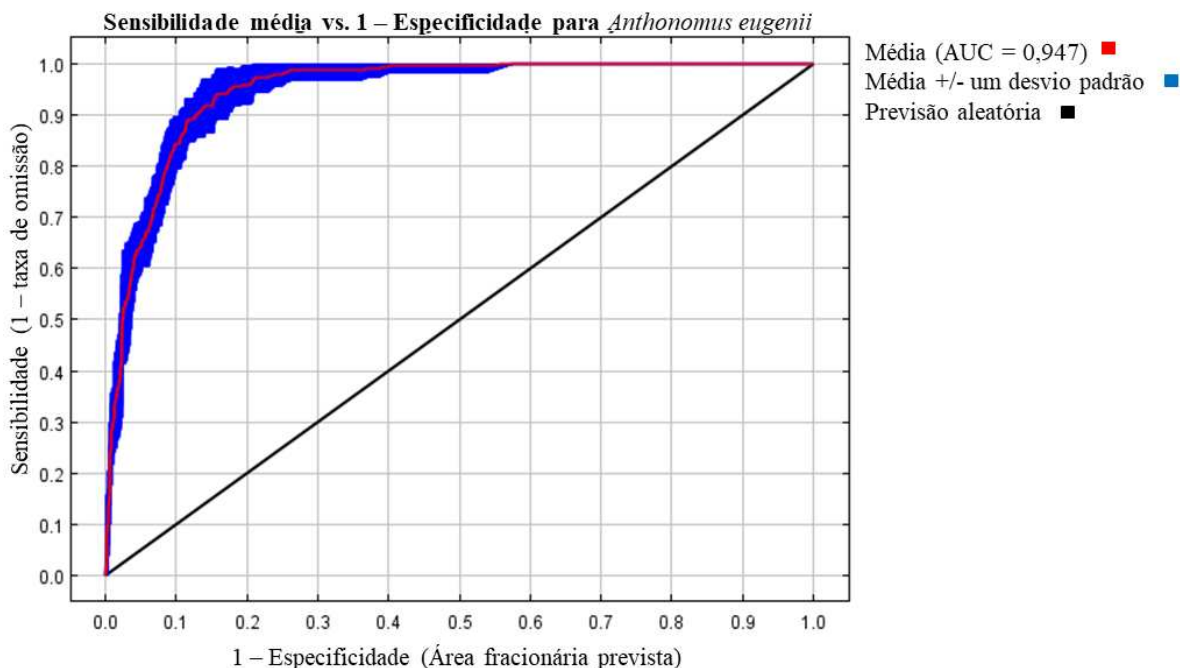


Figura 2. Curva de características operacionais repetida para o modelo de descrição da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo a *Anthonomus eugenii*.

Os locais com isothermalidade entre 71 e 78%, precipitação pluviométrica do trimestre mais úmido maior que 460 mm e precipitação pluviométrica do mês mais seco maior que 73 mm apresentaram alta adequabilidade climática a *A. eugenii* (Figura 3). Os locais com temperatura média do trimestre mais úmido maior que 28 °C e variação mensal da temperatura maior que 15 °C apresentaram alta adequabilidade climática a *A. eugenii* (Figuras 3).

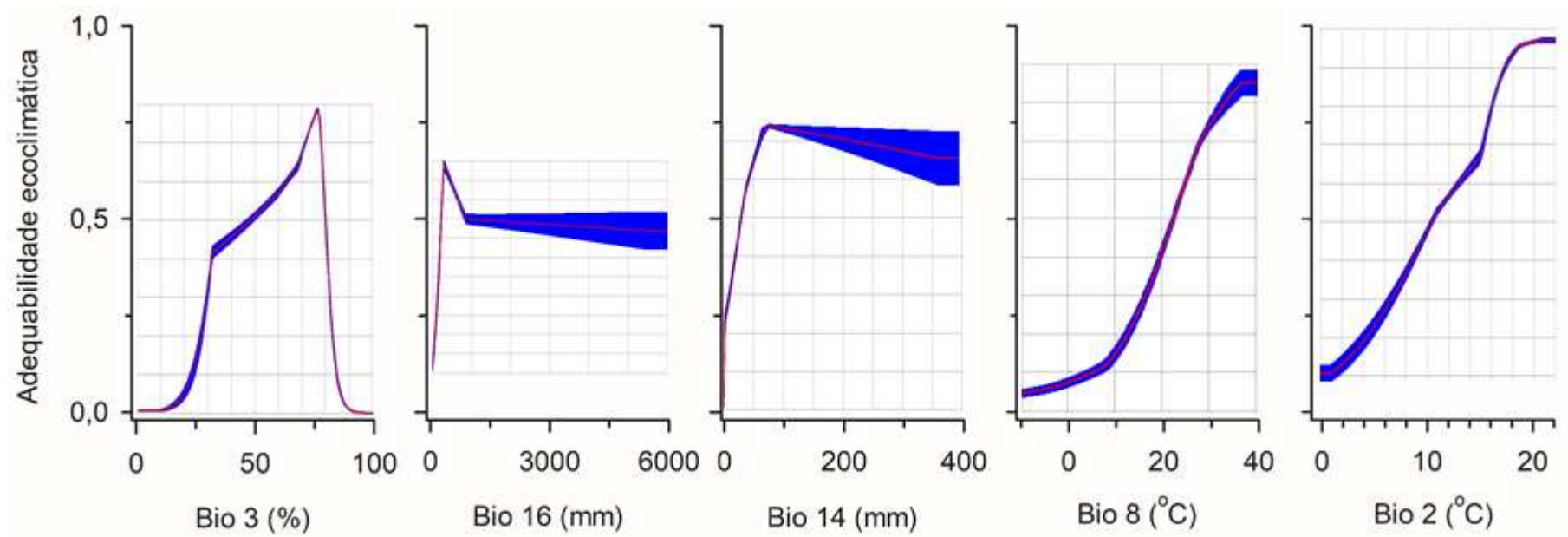
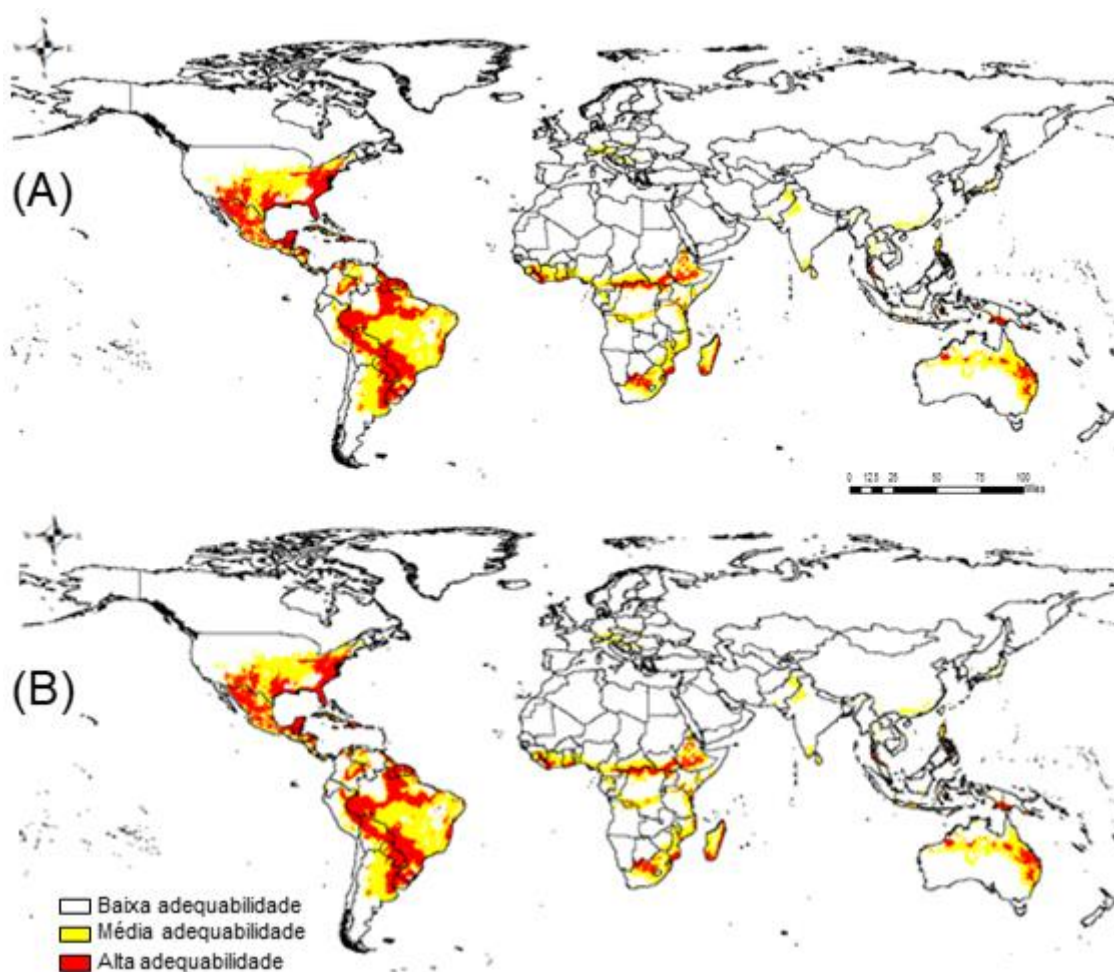


Figura 3. Adequabilidade ecológica das áreas do mundo a *Anthonomus eugenii* em função da variação dos preditores do modelo de distribuição geográfica deste inseto. Bio 3 = isotermalidade, Bio 16 = precipitação pluviométrica do trimestre mais úmido, Bio 14 = precipitação pluviométrica do mês mais seco, Bio 8 = temperatura média do trimestre mais úmido e Bio 2 = variação mensal da temperatura. As linhas vermelhas e as áreas em azul representam a média e o desvio padrão dessas respostas, respectivamente.

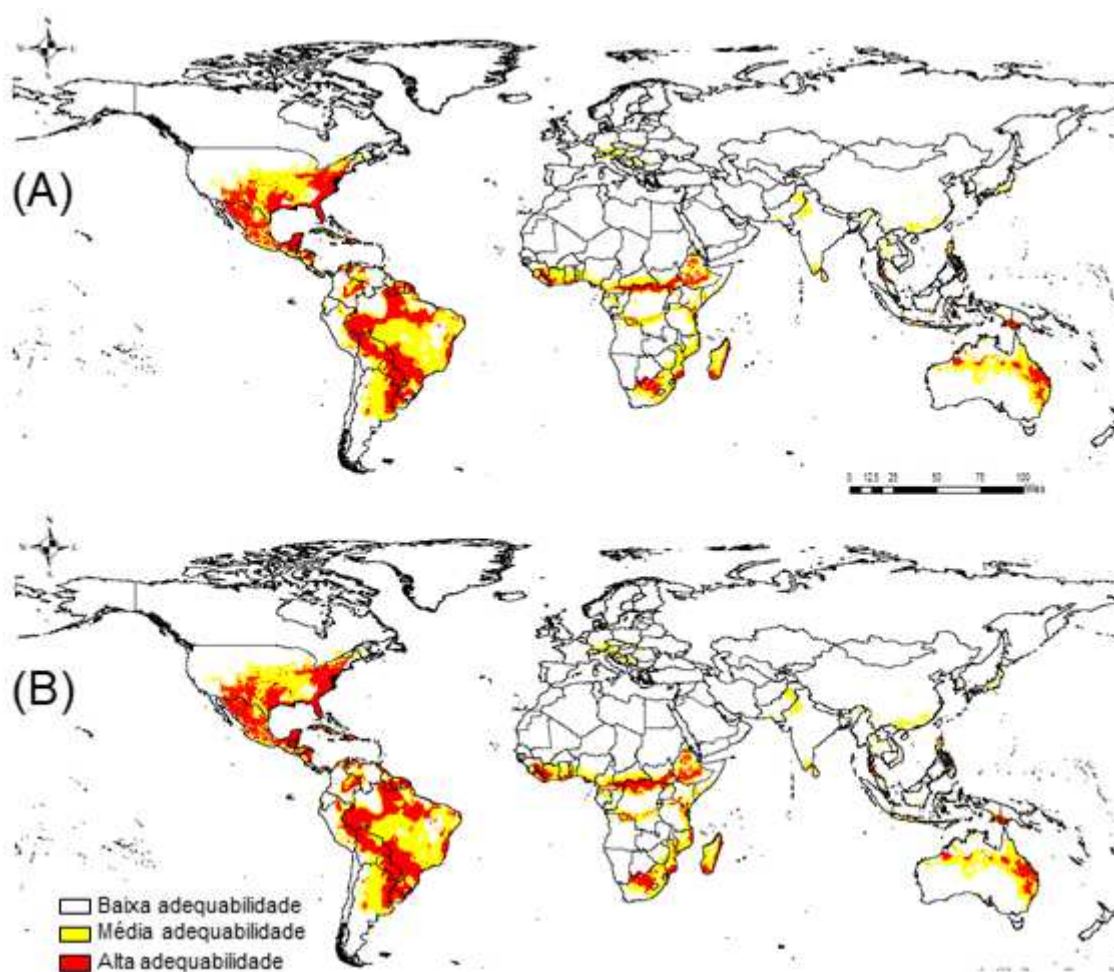
Segundo o modelo de nicho ecológico, atualmente existem áreas com alta adequabilidade ecoclimática para *A. eugenii*, onde essa espécie já está presente, assim como outras áreas onde esse inseto ainda não foi encontrado. As regiões com alta adequabilidade ecoclimática nas quais a espécie está presente apresentam condições edafoclimáticas semelhantes (Figuras 1A e 1B). Entre os locais com alta adequabilidade ecoclimática e que *A. eugenii* está presente estão o centro-sul dos Estados Unidos, México e América Central. Já os locais com alta adequabilidade ecoclimática à praga em que ela ainda não está presente estão do centro-norte ao centro sul da América do Sul, centro-sul da Europa, África Subsaariana, Sudeste Asiático e norte da Austrália.

No momento atual 3,04% das áreas do mundo apresentam alta adequabilidade ecoclimática a *A. eugenii* (Figura 1 B). De acordo com o modelo de nicho ecológico em 2040 a área do mundo com alta adequabilidade ecoclimática a esta praga será de 4,62% a 4,79% nos cenários otimista (SSP126) e pessimista (SSP585) de mudanças climáticas (Figura 4). Já em 2080 a área do planeta com alta adequabilidade ecoclimática a esta praga será de 4,98% a 5,62% nos cenários otimista (SSP126) e pessimista (SSP585) de mudanças climáticas, respectivamente (Figura 5).



Adequabilidade ecoclimática	Áreas do mundo (%)	
	Cenário otimista	Cenário pessimista
Alta	4,62	4,79
Média	7,54	7,52
Baixa	87,83	87,70

Figura 4. Projeções para 2040 da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo a *Anthonomus eugenii* em cenários de mudanças climáticas (A) otimista SSP126 e (B) pessimista SSP585.



Adequabilidade ecoclimática	Áreas do mundo (%)	
	Cenário otimista	Cenário pessimista
Alta	4,98	5,62
Média	7,53	7,46
Baixa	87,49	86,91

Figura 5. Projeções para 2080 da adequabilidade ecoclimática das áreas do mundo a *Anthonomus eugenii* em cenários de mudanças climáticas (A) otimista SSP126 e (B) pessimista SSP585.

4. DISCUSSÃO

O modelo foi implementado sustentando-se nos dados de ocorrência da espécie e nas variáveis ambientais correspondentes, ao se basear na estimativa da densidade máxima de entropia (Phillips e Dudík, 2008). Os dados coletados neste estudo foram concentrados em áreas de clima tropical e subtropical, caracterizadas por condições climáticas que correspondem à realidade de *A. eugenii*, e onde há registros documentados da ocorrência da espécie. O clima afeta diretamente a distribuição de espécies invasoras, uma vez que estas só podem se estabelecer e ter sucesso de desenvolvimento e reprodutivo em locais nos quais não estão limitados por restrições climáticas (Thuiller et al., 2005). O uso desses dados para *A. eugenii*, possibilitam uma capacidade de previsão do modelo mais precisa, simples e global, visto que é caracterizada pela análise das preferências climáticas atuais da espécie (Woodward, 1987). Somado a isso, a construção de modelos que se apoiem em condições e regiões onde a espécie já ocorre, possibilitam um maior significado biológico as previsões geradas, visto que possibilita a validação dos modelos de previsão e o ajuste das variáveis com maior acurácia e consonância com a realidade apresentada pela espécie de interesse (Wang et al., 2017).

O uso de modelos baseados nesse tipo de dinâmica é projetado no pressuposto que os nichos ecológicos apresentados atualmente pela espécie, serão refletidos nas possíveis áreas de invasão. Esse tipo de análise tem apoio no conservadurismo evolutivo de nichos ecológicos, além do apoio na inércia filogenética das espécies ao longo do tempo (Peterson et al., 1999). A espécie *A. eugenii* se mantém restrita à sua região de origem e a regiões com condições climáticas semelhantes a esta, sendo inviável, até o momento, a possibilidade de uma mudança de nicho ecológico. Este fator, fomenta ainda mais a acurácia apresentada pelo modelo gerado, que possui um conjunto de dados próximos ao equilíbrio entre o clima e as projeções a nível mundial, baseando-se em evidências concretas observadas na espécie. Dessa forma, foi utilizado pela primeira vez o modelo MaxEnt para a determinação de condições climáticas que favoreçam *A. eugenii* e prever as áreas globais de adequação para a espécie.

Os dados deste estudo estão alinhados com as informações existentes para a espécie, indicando que a temperatura ideal para seu desenvolvimento é em torno de 30°C. Isso está em concordância com estudos que mostram que a fecundidade máxima de 3,1 ovos/fêmea/dia, o menor tempo de desenvolvimento de 12,9 dias, a

mortalidade mínima e os melhores parâmetros de história de vida são alcançados a aproximadamente 30°C (Toapanta et al., 2005). Além disso, o estudo também revela que temperaturas abaixo de 10°C não são adequadas para a espécie, corroborando resultados que apontam que a temperatura mínima para o ciclo de desenvolvimento é cerca de 15°C, a partir da qual o ciclo passa a durar seis semanas (Seal & Martin, 2017).

O ciclo de desenvolvimento de *A. eugenii* também é afetado pela precipitação pluviométrica. As curvas de adequação geradas demonstram alta adequabilidade do inseto a condições com menores regimentos de chuva, estando em torno de 1000 mm para o trimestre mais chuvoso e 100 mm para o mês mais chuvoso. Esses dados têm correlação com as condições climáticas de desenvolvimento atual da espécie, onde seu nicho ecológico encontra-se situado em regiões de clima tropical e subtropical, com índice pluviométrico distribuído em determinados momentos do ano, associado a altas temperaturas. Somado a isso, essas regiões apresentam altas amplitudes térmicas, que associadas ao regime de chuva, possibilitam um desenvolvimento mais favorável a espécie (Goff & Wilson, 1937), como indicado pela isothermalidade e pela variação mensal de temperatura.

As alterações climáticas e a globalização apontam para ameaças significativas quanto a dinâmica de *A. eugenii* em escala global. Uma estratégia para limitar a sua propagação é a prevenção de sua entrada, que é mais econômica que uma gestão e manejo de pós-introdução (Waage & Reaser, 2001). A prevenção da entrada de *A. eugenii* pode ser realizada por meio de quarentena e inspeção, onde é essencial implementar controles rigorosos nos pontos de entrada, associados a uma inspeção detalhada dos produtos agrícolas. Além disso, esses produtos importados devem vir com certificados fitossanitários e passar por inspeção visual e amostragem. A cooperação internacional é fundamental, incluindo o compartilhamento de informações sobre a espécie e práticas de controle, bem como a promoção de campanhas de conscientização para produtores e o treinamento de profissionais que atuam nas barreiras fitossanitárias. Essas medidas são essenciais para a prevenção da introdução da espécie (Fidelis et al. 2018). Dessa forma, é crucial o monitoramento da espécie, principalmente em regiões nas quais ela é considerada uma praga quarentenária ausente, como é o caso da Europa (EFSA, 2024).

As previsões indicam que as temperaturas globais irão aumentar de 1,5 a 5,8 °C até 2100 (Gao et al., 2017). Esse aumento influencia de forma direta a reprodu-

ção, distribuição geográfica e interações entre a espécie e fungos, além de modificar as estratégias de manejos de pragas (Skendžić et al., 2021). Os dados obtidos nesse trabalho indicam uma previsão de expansão geográfica de *A. eugenii* para fora de sua região nativa. Isso torna a espécie uma ameaça a cultivos de pimentão do mundo todo. Portanto, as descobertas realizadas neste trabalho podem ser utilizadas para definir os fatores favoráveis de ataque da praga e a melhor maneira de realizar o manejo fitossanitário, modulando as estratégias de Manejo Integrado de Pragas para a espécie em questão e para diversas outras espécies invasoras, aumento o escopo de informações sobre as invasões biológicas decorrentes das alterações climáticas.

Os modelos do MaxEnt trazem diversos benefícios ao manejo de *A. eugenii*. Entretanto, estes podem ser afetados por alguns fatores inerentes a espécie. A espécie pode ser introduzida através do transporte de frutos, plantas hospedeiras e até outros materiais vegetais contaminados, sendo o meio de transporte mais comum (EFSA, 2019). Somado a isso, a espécie é de difícil detecção quando transportada em frutos frescos, gomos florais e pedicelos. Além disso, a espécie apresenta capacidade de sobrevivência de até três semanas em condições de frio prolongado de 2°C a 5°C, favorecendo a sua dispersão entre regiões através de transporte de material contaminado (EPPO, 2020c). Esses fatores podem alterar a capacidade de invasão de pragas agrícolas, bem como a presença de inimigos naturais e a disponibilidade da planta hospedeira (Leger & Espeland, 2010). Estratégias de gestão a nível de exploração agrícola, bem como intervenções governamentais e não governamentais e adoção de programas de proteção de plantas e regulação de espécies podem influenciar a propagação de novas áreas (Chung et al., 2022). Dessa forma, esses fatores devem ser levados em consideração para previsões futuras de distribuição global de *A. eugenii* e seu impactos reavaliados.

5. CONCLUSÕES

O modelo determinado neste trabalho é robusto para prever as áreas atuais e futuras do mundo favoráveis a *Anthonomus eugenii*. As regiões com alta temperatura do ar no verão e que possuem média ou alta pluviosidade são favoráveis à praga. O leste e sul dos Estados Unidos, México, América Central, centro-oeste da América do Sul, centro-sul da África, sudeste asiático e norte da Austrália são regiões que possuem alta adequabilidade a *A. eugenii*. Prevê-se que em 2040 e 2080 ocorrerão

aumento das áreas com alta adequabilidade ecoclimática a *A. eugenii* em 50% e 70%, respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

Addesso, K. M. (2007). *Host location and utilization by the pepper weevil, Anthonomus eugenii Cano*. ProQuest.

Aidoo, O. F., Souza, P. G. C., Silva, R. S., Santana Jr. P. A., Picanço, M. C., Osei-Owusu, J., Sétamou, M., Ekesi S., Christian Borgemeister & Borgemeister, C. (2022). A machine learning algorithm-based approach (MaxEnt) for predicting invasive potential of *Trioza erytreae* on a global scale. *Ecological Informatics*, 71, 101792.

Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B., Anderson, R. P., Bjornson, R., & Weston, S. (2014). spThin: functions for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological models. *R package version 0.1. 0*.

Bacci, L., Silva, É. M., Martins, J. C., Silva, R. S., Chediak, M., Milagres, C. C., & Picanço, M. C. (2021). The seasonal dynamic of *Tuta absoluta* in *Solanum lycopersicon* cultivation: Contributions of climate, plant phenology, and insecticide spraying. *Pest Management Science*, 77(7), 3187-3197.

Barzegar, S., Zamani, A. A., Abbasi, S., Vafaei Shooshtari, R., & Shirvani Farsani, N. (2016). Temperature-dependent development modeling of the phorid fly *Megaselia halterata* (Wood) (Diptera: Phoridae). *Neotropical entomology*, 45, 507-517.

Brown, J. L., Bennett, J. R., & French, C. M. (2017). SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. *PeerJ*, 5, e4095.

CABI - Center for Agriculture and Bioscience International. (2024). Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/> (Acesso em 08 de março de 2024).

Chen, C., Harvey, J. A., Biere, A., & Gols, R. (2019). Rain downpours affect survival and development of insect herbivores: the specter of climate change?. *Ecology*, 100(11), e02819.

Chidawanyika, F. (2010). *Thermal tolerance of Cydia pomonella (Lepidoptera: Tortricidae) under ecologically relevant conditions* (Doctoral dissertation, Stellenbosch: University of Stellenbosch).

Chung, H. I., Choi, Y., Yoo, Y., Engler, R., Lee, K., & Jeon, S. W. (2022). Integrated spatial model based evaluation methodology for optimal invasive species management: common ragweed in the Republic of Korea. *Environmental Research Letters*, 17(3), 034047.

Collins, A., Law, M. (2022). Getting to know ArcGIS desktop 10.8. Redlands: Esri. 600p.

Drew, C. A., Wiersma, Y. F., Huettmann, F. (2011). Predictive species and habitat modeling in landscape Ecology: Concepts and applications. New York: Springer. 618p.

EFSA - European Food Safety Authority. (2024). Disponível em: <https://www.efsa.europa.eu/en>. (Acesso em 27 de maio de 2024).

EPPO – European & Mediterranean Plant Protection Organization. (2024a). Global Database - European Union Funding. Disponível em: <https://gd.eppo.int/taxon/ANTHEU/categorization> (Acesso em 17 de abril de 2024).

EPPO – European & Mediterranean Plant Protection Organization. (2024b). Global Database - European Union Funding. Disponível em: <https://gd.eppo.int/taxon/ANTHEU/datasheet> (Acesso em 17 de abril de 2024).

Fidelis, E. G., Lohmann, T. R., da SILVA, M. L., Parizzi, P., BARBOSA, F., LOHMANN, T. R., ... & BARBOSA, F. F. L. (2018). Priorização de pragas quarentenárias ausentes no Brasil.

Gao, Y., Gao, X., & Zhang, X. (2017). The 2 C global temperature target and the evolution of the long-term goal of addressing climate change—from the United Nations framework convention on climate change to the Paris agreement. *Engineering*, 3(2), 272-278.

GBIF.org (31 July 2024) GBIF Occurrence Download <https://doi.org/10.15468/dl.b3f49t>

Google Scholar. (2024). Disponível em: <https://scholar.google.com/> (Acesso em 08 de março de 2024).

Hayhoe, K., Kopp, R., Sanderson, B., Wehner, M., & Wuebbles, D. (2017). Climate models, scenarios, and projections. In: Wuebbles, D.J., Fahey, D. W., Hibbard, K. A., Dokken, D.J., Stewart, B. C., & Maycock, T. K. (Eds.). Climate science special report: A sustained assessment activity of the U.S. global change research program. p. 186-227.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>. Acesso em 12/04/2024.

Jarnevich, C. S., Stohlgren, T. J., Kumar, S., Morissette, J. T., & Holcombe, T. R. (2015). Caveats for correlative species distribution modeling. *Ecological Informatics*, 29, 6-15.

Karban, R., Grof-Tisza, P., & Holyoak, M. (2017). Wet years have more caterpillars: interacting roles of plant litter and predation by ants. *Ecology*, 98(9), 2370-2378.

Kumar, S., Neven, L. G., & Yee, W. L. (2014). Evaluating correlative and mechanistic niche models for assessing the risk of pest establishment. *Ecosphere*, 5(7), 1-23.

Leger, E. A., & Espeland, E. K. (2010). Perspective: coevolution between native and invasive plant competitors: implications for invasive species management. *Evolutionary applications*, 3(2), 169-178.

Lehmann, P., Ammunét, T., Barton, M., Battisti, A., Eigenbrode, S. D., Jepsen, J. U., Kalinkat, G., Neuvonen, S., Niemelä, P., Terblanche, J. S., Økland, O., & Björkman, C. (2020). Complex responses of global insect pests to climate warming. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(3), 141-150.

- Liu, B., Li, H. Q., Ali, A., Li, H. B., Liu, J., Yang, Y. Z., & Lu, Y. H. (2015). Effects of temperature and humidity on immature development of *Lygus pratensis* (L.) (Hemiptera: Miridae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 18(2), 139-143.
- Low, B. W., Zeng, Y., Tan, H. H., & Yeo, D. C. (2021). Predictor complexity and feature selection affect Maxent model transferability: Evidence from global freshwater invasive species. *Diversity and Distributions*, 27(3), 497-511.
- Mahatara, D., Acharya, A. K., Dhakal, B. P., Sharma, D. K., Ulak, S., & Paudel, P. (2021). Maxent modelling for habitat suitability of vulnerable tree *Dalbergia latifolia* in Nepal. *Silva Fennica*, 55(4).
- Martins, J. C., Picanço, M. C., Bacci, L., Guedes, R. N. C., Santana Jr., P. A., Ferreira, D. O., & Chediak, M. (2016). Life table determination of thermal requirements of the tomato borer *Tuta absoluta*. *Journal of pest science*, 89, 897-908.
- Muscarella, R., Galante, P. J., Soley-Guardia, M., Boria, R. A., Kass, J. M., Uriarte, M., & Anderson, R. P. (2014). ENM eval: An R package for conducting spatially independent evaluations and estimating optimal model complexity for Maxent ecological niche models. *Methods in ecology and evolution*, 5(11), 1198-1205.
- Park, H. H., Ahn, J. J., & Park, C. G. (2014). Temperature-dependent development of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae) and their validation in semi-field condition. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 17(1), 83-91.
- Pereira, E. J. G., Picanço, M. C., Bacci, L., Crespo, A. L. B., & Guedes, R. N. C. (2007). Seasonal mortality factors of the coffee leafminer, *Leucoptera coffeella*. *Bulletin of entomological research*, 97(4), 421-432.
- Peterson, A. T., Soberón, J., & Sánchez-Cordero, V. (1999). Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, 285(5431), 1265-1267.
- Peterson, A. T., Soberón, J., Pearson, R. G., Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., & Araújo, M. B. (2011). Ecological niches and geographic distributions (MPB-49). In *Ecological Niches and Geographic Distributions (MPB-49)*. Princeton University Press.
- Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161-175.
- Phillips, S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., & Blair, M. E. (2017). Opening the black box: An open-source release of Maxent. *Ecography*, 40(7), 887-893.
- Porter, P., Lewis, B. E., Scanlon, R., & Murrays, L. (2007). Pepper Weevil Infestation of Cv. Early Jalapeno Peppers of Different Size Classes. *Southwestern entomologist*, 32(1), 1-6.
- Price, W. P. (1997). 3 ed. *Insect Ecology*. New York: John Wiley & Sons, 888p.
- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em <https://www.R-project.org/>. Acesso em 12/04/2024.

Rodríguez-Leyva E, Stansly PA, Schuster DJ, Bravo-Mosqueda E. 2007. Diversity and distribution of parasitoids of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) from Mexico and prospects for biological control. *Florida Entomologist* 90: 693–703.

Roy, M., Brodeur, J., & Cloutier, C. (2002). Relationship between temperature and developmental rate of *Stethorus punctillum* (Coleoptera: Coccinellidae) and its prey *Tetranychus mcdanieli* (Acarina: Tetranychidae). *Environmental Entomology*, 31(1), 177-187.

Rubio-Aragón, W. A., López-Orona, C. A., López-Urquidez, G. A., Payán-Arzapalo, M. A., Cruz-Mendivil, A., Hernández-Verdugo, S., & Retes-Manjarrez, J. E. (2022). A rapid screening method for resistance to *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) in *Capsicum* (Solanaceae) spp. plants. *Florida Entomologist*, 105(2), 101-107.

Sánchez-Ramos, I., Álvarez-Alfageme, F., & Castañera, P. (2007). Development and survival of the cheese mites, *Acarus farris* and *Tyrophagus neiswanderi* (Acari: Acaridae), at constant temperatures and 90% relative humidity. *Journal of stored products research*, 43(1), 64-72.

Santana Jr, P. A., Kumar, L., Da Silva, R. S., Pereira, J. L., & Picanço, M. C. (2019). Assessing the impact of climate change on the worldwide distribution of *Dalbulus maidis* (DeLong) using MaxEnt. *Pest Management Science*, 75(10), 2706-2715.

Santos, A. A., Ribeiro, A. V., Groom, S. V., Farias, E. S., Carmo, D. G., Santos, R. C., & Picanço, M. C. (2020). Season and weather affect the mortality of immature stages of *Ascia monuste orseis* (Lepidoptera: Pieridae) caused by natural factors. *Austral Entomology*, 59(4), 810-818.

Santos, R. C., Batista, C. V., Santos, A. A., da Silva, R. S., & Picanço, M. C. (2023). Predicting suitable areas for the invasive species *Erthesina fullo* (Hemiptera: Pentatomidae). *Crop Protection*, 172, 106297.

Seal, D., R., & Martin, C., G. (2017). Laboratory Rearing of Pepper Weevils (Coleoptera: Curculionidae) Using Artificial Leaf Balls and a Boll Weevil Diet. *Journal of Entomological Science* 52(4), 395-410.

Silva, R. S., Kumar, L., Shabani, F., Silva, E. M., Galdino, T. V. S., & Picanço, M. C. (2017). Spatio-temporal dynamic climate model for *Neoleucinodes elegantalis* using CLIMEX. *International Journal of Biometeorology*, 61, 785-795.

Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V., & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440.

Soares, J. R. S., Ramos, R. S., Silva, R. S., Neves, D. V. C., & Picanço, M. C. (2021). Climate change impact assessment on worldwide rain fed soybean based on species distribution models. *Tropical Ecology*, 62, 612-625.

Tatebe, H., Ogura, T., Nitta, T., Komuro, Y., Ogochi, K., Takemura, T., Sudo, K., Sekiguchi, M., Abe M., Saito, F., Chikira M., Watanabe, S., Mori, M., Hirota, N., Kawatani, Y., Mochizuki, T., Yoshimura, K., Takata, K., O'ishi, R., Yamazaki, D., Suzuki T., Kurogi, M., Kataoka, T., Watanabe M., & Kimoto, M. (2019). Description and basic evaluation of simulated mean state, internal variability, and climate sensitivity in MIROC6. *Geoscientific Model Development*, 12(7), 2727-2765.

Thuiller, W., Richardson, D. M., Pyšek, P., Midgley, G. F., Hughes, G. O., & Rouget, M. (2005). Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Global change biology*, 11(12), 2234-2250.

Toapanta, M. A., Schuster, D. J., & Stansly, P. A. (2005). Development and life history of *Anthonomus eugenii* (Coleoptera: Curculionidae) at constant temperatures. *Environmental Entomology*, 34(5), 999-1008.

Waage, J. K., & Reaser, J. K. (2001). A global strategy to defeat invasive species. *Science*, 292(5521), 1486-1486.

Wang, C. J., Wan, J. Z., Qu, H., & Zhang, Z. X. (2017). Modelling plant invasion pathways in protected areas under climate change: implication for invasion management. *Web Ecology*, 17(2), 69-77.

WMO - World Meteorological Organization. (2024). Disponível em: <https://wmo.int/>. (Acesso 27 de maio de 2024).

Wood, C. (2009). Insects, weather and climate.

Woodward, F. I. (1987). *Climate and plant distribution*. Cambridge University Press.

WorldClim (2024). WorldClim version 2.1. Disponível em <https://worldclim.org/data/index.html#>. Acesso em 12/04/2024.

7. APÊNDICE

Tabela 1S. Pontos de ocorrência filtrados e suas coordenadas geográficas para geração do modelo final de *Anthonomus eugenii* no MaxENT.

Pontos de ocorrência filtrados	Longitude	Latitude	Pontos de ocorrência filtrados	Longitude	Latitude
1 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-911.544	304.506	111 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.912.558	294.167.065
2 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-1.071.525	3.266.528	112 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.938.087	8.440.276
3 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-1.196.972	344.208	113 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-83.509.548	31.488.938
4 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-6.633.453	1.818.617	114 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-83.589.993	89.696.559
5 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-6.660.058	183.615.339	115 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-83.660.718	300.470.277
6 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-6.978.888	188.008.774	116 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-84.192.653	10.144.382
7 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-7.016.194	1.945.519	117 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-84.233.821	9.999.216
8 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-7.019.159	185.955.275	118 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-85.832.031	147.444.993
9 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-7.500.574	39.307.135	119 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-85.937.505	14.708.964
10 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-7.508.159	39.380.118	120 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-86.244.887	144.563.903
11 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-7.701.358	367.110.259	121 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-87.643.691	142.432.632
12 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-7.723.431	366.488.383	122 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-87.663.073	143.670.177
13 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-7.821.881	341.415.814	123 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-87.664.153	139.505.619
14 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-8.298.545	85.518.805	124 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-87.686.131	144.764.878
15 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-8.306.535	86.704.923	125 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-87.850.216	135.286.862
16 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-8.335.356	88.627.908	126 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-87.873.472	152.697.339
17 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-8.612.805	146.358.171	127 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-87.969.967	15.442.119
18 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-9.028.768	185.827.001	128 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-88.455.033	132.986.079
19 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-9.759.715	25.997.472	129 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-88.459.831	136.648.552
20 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-9.826.975	294.584.569	130 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-88.775.616	136.361.349
21 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-10.549.467	281.777	131 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-88.779.662	135.337.407
22 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-10.991.787	27.533.663	132 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-88.903.568	13.794.712
23 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-11.737.861	3.319.583	133 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-88.943.463	134.983.172
24 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-11.814.361	3.414.778	134 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.107.032	139.439.175

25 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-12.227.167	3.787.167	135 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.108.009	136.729.701
26 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-15.768.972	21.277.763	136 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.296.209	18.067.473
27 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-52.987.157	47.480.386	137 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.418.907	180.607.101
28 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.190.424	1.820.236	138 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.513.652	140.080.931
29 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.235.835	18.001.939	139 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.794.715	1.493.753
30 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.243.663	183.692.706	140 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.888.055	18.606.111
31 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.366.874	184.151.269	141 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-89.978.033	196.990.395
32 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.377.027	180.486.959	142 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-90.008.021	195.498.939
33 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.618.434	181.969.225	143 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-90.085.365	197.631.752
34 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.740.699	18.168.319	144 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-90.234.688	197.652.151
35 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.744.425	184.161.577	145 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-90.334.144	151.121.776
36 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.867.684	184.420.591	146 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-90.342.347	197.267.994
37 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-66.991.341	180.973.897	147 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-90.607.338	149.735.394
38 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-67.014.035	183.103.108	148 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-90.616.224	179.049.835
39 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-67.056.739	182.003.433	149 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-91.365.315	143.592.945
40 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-67.063.586	183.790.705	150 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-92.139.233	157.256.497
41 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-67.184.405	182.818.418	151 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-92.305.176	14.736.381
42 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-69.849.658	18.711.271	152 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-92.496.516	17.115.344
43 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-69.970.556	189.961.982	153 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-92.621.238	1.710.632
44 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-70.125.827	189.398.889	154 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-92.741.302	1.717.695
45 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-70.152.562	19.138.662	155 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-93.172.807	16.753.305
46 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-70.331.988	195.423.236	156 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-94.285.915	36.073.894
47 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-70.396.879	193.868.439	157 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-96.400.173	18.833.994
48 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-70.544.188	185.457.126	158 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-96.704.838	17.039.501
49 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-70.666.808	184.634.649	159 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-96.948.364	19.535.038
50 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.035.063	195.419.754	160 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-97.021.316	20.482.124
51 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.125.449	183.457.298	161 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-97.512.136	26.068.863
52 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.183.458	181.859.795	162 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-97.530.561	26.190.232
53 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.219.085	182.601.944	163 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-97.821.887	26.118.174
54 - <i>Anthonomus</i>	-71.229.537	188.530.574	164 - <i>Anthonomus</i>	-97.857.386	22.284.955

<i>eugenii</i>			<i>eugenii</i>		
55 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.230.561	184.560.738	165 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-97.989.319	26.085.906
56 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.296.063	178.650.718	166 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-98.011.991	261.435.501
57 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.305.932	183.776.104	167 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-98.324.185	296.016.678
58 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.374.949	180.150.265	168 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-98.424.689	292.940.877
59 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.461.831	178.503.002	169 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-98.655.256	293.279.391
60 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.512.281	189.663.396	170 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-98.852.566	24.280.491
61 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-71.591.891	188.820.622	171 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-98.861.688	2.936.105
62 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-74.901.279	39.360.733	172 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.082.872	23.842.528
63 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-74.934.803	39.450.209	173 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.121.236	23.907.888
64 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-75.128.132	39.457.567	174 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.190.854	21.001.116
65 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-75.216.194	39.344.838	175 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.222.474	18.620.232
66 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-75.227.891	39.515.191	176 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.290.978	37.610.805
67 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-75.291.302	38.591.502	177 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.322.609	2.251.588
68 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-75.393.007	39.392.714	178 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.381.847	22.592.708
69 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-76.195.232	357.939.962	179 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.466.667	21.248.056
70 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-76.271.633	366.681.178	180 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-99.623.254	19.357.434
71 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-76.472.028	356.518.045	181 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 100.347.773	20.610.373
72 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-76.837.613	365.779.725	182 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 100.494.252	20.618.574
73 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-77.467.735	366.013.256	183 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 100.944.163	25.510.029
74 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-77.792.499	40.775.618	184 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 101.974.498	219.186.631
75 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-78.476.864	342.353.589	185 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.044.595	20.420.472
76 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-78.496.734	340.527.968	186 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.099.905	218.360.166
77 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-78.541.323	339.574.405	187 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.259.637	219.965.388
78 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-78.690.836	340.115.698	188 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.321.238	218.245.585
79 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-78.929.917	342.338.987	189 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.393.142	217.402.765
80 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-79.870.741	43.378.714	190 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.416.362	21.574.134
81 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.142.428	326.808.639	191 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.429.264	21.503.129
82 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.229.324	43.506.529	192 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.438.124	21.623.782
83 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.308.099	32.861.144	193 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.554.474	21.603.199

84 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.369.535	325.757.517	194 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.582.295	21.497.746
85 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.425.578	84.275.018	195 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 102.661.097	21.565.436
86 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.462.225	256.333.527	196 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 103.505.525	18.604.802
87 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.479.597	254.998.353	197 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 105.291.723	2.802.927
88 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.537.027	328.291.851	198 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 106.287.598	31.684.182
89 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.585.914	264.387.264	199 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 106.362.273	23.272.723
90 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.596.306	323.490.331	200 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 106.500.265	31.757.331
91 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.599.026	79.203.861	201 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 106.765.188	32.273.068
92 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.688.565	278.092.302	202 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 106.905.077	2.391.123
93 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.708.194	81.038.678	203 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 107.749.774	32.182.207
94 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.714.342	32.622.798	204 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 109.632.049	2.680.492
95 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.921.596	321.996.013	205 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 109.961.454	27.462.409
96 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-80.937.734	264.539.502	206 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 110.853.372	29.040.593
97 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-81.114.658	80.184.449	207 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 111.520.059	329.298.274
98 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-81.708.195	272.677.306	208 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 111.662.906	326.521.579
99 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-81.973.919	82.569.637	209 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 111.704.709	40.225.095
100 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.079.906	300.638.779	210 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 112.069.392	330.627.553
101 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.170.454	82.854.708	211 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 118.127.015	34.095.287
102 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.269.866	28.167.035	212 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 155.090.469	19.718.562
103 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.306.264	85.277.944	213 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 156.954.304	20.800.655
104 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.474.648	94.759.895	214 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 157.918.511	21.617.078
105 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.571.704	94.178.275	215 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 158.026.656	21.539.266
106 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.626.199	84.863.762	216 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 158.090.899	21.542.836
107 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.701.908	83.537.386	217 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 158.168.144	21.435.453
108 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.797.002	84.088.959	218 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 159.336.816	22.059.496
109 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.828.282	300.944.919	219 - <i>Anthonomus eugenii</i>	- 159.344.077	22.094.236
110 - <i>Anthonomus eugenii</i>	-82.869.613	83.266.622			

Tabela 2S. Correlações entre as variáveis utilizadas para geração do modelo final de *Anthonomus eugenii* no Maxent.

Bio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	0,25	1																		
3	0,85	0,17	1																	
4	-0,88	-0,07	-0,96	1																
5	0,85	0,59	0,54	-0,53	1															
6	0,97	0,12	0,91	-0,95	0,72	1														
7	-0,82	0,17	-0,90	0,97	-0,40	-0,92	1													
8	0,72	0,22	0,56	-0,53	0,67	0,64	-0,48	1												
9	0,91	0,24	0,82	-0,87	0,73	0,92	-0,81	0,49	1											
10	0,92	0,37	0,60	-0,62	0,96	0,82	-0,55	0,73	0,79	1										
11	0,98	0,20	0,91	-0,95	0,76	1,00	-0,89	0,66	0,93	0,84	1									
12	0,38	-0,49	0,45	-0,48	0,03	0,47	-0,60	0,19	0,37	0,21	0,42	1								
13	0,52	-0,36	0,63	-0,65	0,15	0,61	-0,72	0,36	0,48	0,31	0,57	0,90	1							
14	-0,05	-0,41	-0,08	0,01	-0,20	0,00	-0,11	-0,20	0,03	-0,07	-0,04	0,66	0,33	1						
15	0,44	0,36	0,53	-0,46	0,37	0,42	-0,34	0,48	0,35	0,34	0,46	-0,14	0,23	-0,66	1					
16	0,50	-0,38	0,61	-0,62	0,13	0,58	-0,70	0,34	0,46	0,29	0,55	0,92	0,99	0,36	0,21	1				
17	0,00	-0,42	-0,03	-0,04	-0,17	0,05	-0,16	-0,16	0,07	-0,04	0,01	0,72	0,39	0,99	-0,64	0,41	1			
18	0,19	-0,41	0,26	-0,28	-0,10	0,24	-0,38	0,21	0,13	0,06	0,22	0,77	0,70	0,61	-0,08	0,71	0,64	1		
19	0,32	-0,38	0,39	-0,41	0,06	0,41	-0,50	0,08	0,38	0,19	0,36	0,84	0,72	0,56	-0,19	0,74	0,61	0,43	1	
20	-0,04	0,55	0,24	-0,17	-0,01	0,01	-0,01	-0,13	0,05	-0,18	0,05	-0,32	-0,20	-0,34	0,26	-0,22	-0,34	-0,27	-0,26	1

Tabela 3S. Percentual de contribuição das variáveis ambientais utilizadas no modelo MaxEnt inicial e final de *Anthonomus eugenii*.

Código	Contribuição (%)	Variável ambiental
Bio 3	18,5	Isotermalidade (%)
Bio 16	12,4	Precipitação pluviométrica do trimestre mais úmido (mm)
Bio 11	11,9	Temperatura média do trimestre mais frio (°C)
Bio 2	8,8	Variação mensal da temperatura (°C)
Bio 14	8,8	Precipitação pluviométrica do mês mais seco (mm)
Bio 20	8,8	Altitude do local (m)
Bio 19	8,3	Precipitação pluviométrica do trimestre mais frio (mm)
Bio 4	7,6	Sazonalidade da temperatura (°C)
Bio 18	3,2	Precipitação pluviométrica do trimestre mais quente (mm)
Bio 6	2,4	Temperatura mínima do mês mais frio (°C)
Bio 13	2,1	Precipitação pluviométrica do mês mais chuvoso (mm)
Bio 9	1,6	Temperatura média do trimestre mais seco (°C)
Bio 8	1,5	Temperatura média do trimestre mais úmido (°C)
Bio 1	1,4	Temperatura média anual (°C)
Bio 7	0,6	Variação anual da temperatura (°C)
Bio 10	0,6	Temperatura média do trimestre mais quente (°C)
Bio 15	0,6	Sazonalidade da precipitação pluviométrica (mm)
Bio 12	0,4	Total de precipitação pluviométrica anual (mm)
Bio 17	0,4	Precipitação pluviométrica do trimestre mais seco (mm)
Bio 5	0,2	Temperatura máxima do mês mais quente (°C)

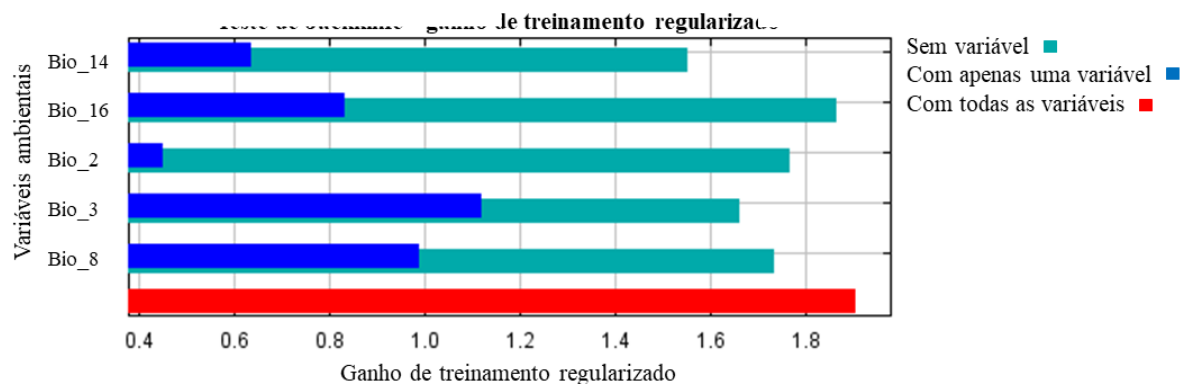


Figura 1S. Importância relativa das variáveis ambientais com base no teste Jackknife de ganho de treinamento regularizado no modelo de distribuição de *Anthonomus eugenii*. Os valores médios computadas em 10 execuções replicadas.