



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE BIOTECNOLOGIA

JOÃO EGÍDIO FERREIA MAIA NETO

**Análise de risco da expansão da Área Livre de Pragas da mosca-das-frutas
Anastrepha grandis (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae) por
modelagem preditiva de nicho MaxEnt**

MOSSORÓ/RN

2021

JOÃO EGÍDIO FERREIA MAIA NETO

**Análise de risco da expansão da Área Livre de Pragas da mosca-das-frutas
Anastrepha grandis (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae) por
modelagem preditiva de nicho MaxEnt**

Monografia referente ao Estágio
Supervisionado Obrigatório III,
apresentada à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido-UFERSA,
Campus Mossoró, para a obtenção do
título de Bacharel em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Sekiguchi de Godoy.

Co-orientador: Prof. Dr. Adrian José Molina-Rugama

MOSSORÓ/RN

2021

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M217a Maia Neto, Joao Egidio Ferreira.

Análise de risco da expansão da Área Livre de
Pragas da mosca-das-frutas *Anastrepha grandis*
(Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae) por
modelagem preditiva de nicho MaxEnt / Joao Egidio
Ferreira Maia Neto. - 2021.

42 f.: il.

Orientador: Maurício Sekiguchi de Godoy.

Coorientador: Adrian José Molina-Rugama.

Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Biotecnologia,
2021.

1. Mosca das cucurbitáceas sul-americana. 2.
Biologia Evolutiva. 3. Monitoramento de pragas.
4. Modelagem computacional. I. Sekiguchi de
Godoy, Maurício, orient. II. José Molina-Rugama,
Adrian, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

JOÃO EGIDIO FERREIRA MAIA NETO

**Análise de risco da expansão da Área Livre de Pragas da mosca-das-frutas
Anastrepha grandis (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae) por
modelagem preditiva de nicho MaxEnt**

Monografia referente ao Estágio
Supervisionado Obrigatório III,
apresentada à Universidade Federal Rural
do Semi-Árido-UFERSA, Campus
Mossoró, para a obtenção do título de
Bacharel em Biotecnologia.

Defendida em: 19/11/2021

BANCA EXAMINADORA

Maurício Sekiguchi de Godoy, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Adrian José Molina-Rugama, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador



Ruan Carlos de Mesquita Oliveira, Dr. (IN SOLUÇÕES BIOLÓGICAS)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Ivoneide da Silva Lima e Francisco Galdino Neto que me deram todo o apoio necessário durante minha jornada de graduação e mesmo com todas as dificuldades permaneceram firmes e fortes. A minha irmã Julia Maria de Lima Galdino por ser uma constância de novos conhecimentos e aprendizados na minha vida.

Agradeço a meu Professor e Orientador Maurício Sekiguchi de Godoy por acreditar nas minhas ideias e dar todo o apoio para colocá-las a frente mesmo que eu não seja das pessoas mais comunicativas e fáceis de se trabalhar. Ao Professor Adrian pelo apoio e ajuda nos esclarecimentos e ao Dr. Ruan pelas ideias dadas na defesa.

Agradeço aos meus amigos de infância do qual seguimos a mesma estrada, Junim, Rodrigo, Clint, e aos amigos que conheci ao longo da graduação, Rafael, Yarlla e Lodovyka.

E aos meus amigos de longa distância Pedro Varollo (waxin), Christian Rubin (Capotas “AKA” melhor tank do TBC), Johann Fernandes (Lorthorion), Matheus Tireli (Matheuszin, o perigoso) e Pedro Nogacz (Kouren, o mestre da mesa).

*“Look to those who walked before to lead those
who walked after.”*

(Final Fantasy XIV)

RESUMO

A Área Livre de Pragas (ALP) da mosca das frutas *Anastrepha grandis* (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae) possui um papel socioeconômico importante para a região do semiárido nordestino, de forma que a manutenção desse *status* deve ser preservada com o emprego das mais variadas técnicas de controle e monitoramento de insetos-praga. O entendimento do nicho ecológico dessa espécie e suas respostas aos fatores climáticos dão uma estimativa de sua capacidade de distribuição e da possibilidade de sua dispersão para zonas de controle. A adesão de novas áreas para a ALP validadas pela portaria nº 305 de 12 de maio de 2021 pode pôr em risco a sua manutenção se essa decisão não for feita com o conhecimento da capacidade de adequação da espécie a aquele ambiente. Utilizando-se das variáveis bioclimáticas Bio1, Bio2, Bio3, Bio7, Bio12, Bio13, Bio17 e Bio19, em contraste com as coordenadas de ocorrência de *A. grandis*, uma modelagem MaxEnt foi realizada para identificação do seu grau de adequação no território brasileiro. As *features Linear* e *Quadratic*, e um multiplicador de regularização (rm) de 0,5, foram selecionadas como parâmetros. Realizou-se a modelagem com 5000 interações e 100 replicações do tipo *bootstrap* empregando o teste de *Jackknife* para avaliação do impacto de cada variável e a designação de 30% dos pontos de ocorrência para treino e o restante para validação. A avaliação indicou um índice AUC satisfatório de 0,915 e o teste de *Jackknife* indicou as variáveis Bio18, Bio1 e Bio12 como as três mais impactantes para o modelo. Os resultados foram projetados em um mapa indicando áreas de alta adequabilidade nas regiões Sul, Sudeste e Centro Oeste, baixa adequabilidade ambiental para a região Norte e pontos de alta adequabilidade ao sul do Nordeste que se mostram como pontos de entrada para dispersão da praga na região. A região Nordeste, no geral, demonstrou baixa suscetibilidade a presença da espécie, ratificando que a ALP está bem enquadrada em uma região pouco adequável para o desenvolvimento da *A. grandis* de modo que sua expansão não oferece risco atualmente para a introdução da praga. Alguns pontos isolados de alto grau de adequabilidade foram identificados no estado do Ceará e com a expansão no estado do Rio Grande do Norte o território da ALP se aproxima de regiões com risco acima da média geral.

Palavras-chave: Mosca das cucurbitáceas sul-americana, Biologia evolutiva, Monitoramento de pragas, Modelagem computacional

ABSTRACT

The pest free area (ALP) of the fruit fly *Anastrepha grandis* (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae) has an important socioeconomic role for the semi-arid region of northeastern Brazil, so that the maintenance of this status must be preserved with the use of more varied control and monitoring techniques for pest insects. Understanding the ecological niche of this species and its responses to climatic factors provide an estimate of its distribution capacity and the possibility of its dispersal to control zones. The adhesion of new areas to the ALP validated by Ordinance No. 305 of May 12, 2021, may jeopardize its maintenance if this decision is not made with knowledge of the species' ability to adapt to that environment. Using the bioclimatic variables Bio1, Bio2, Bio3, Bio7, Bio12, Bio13, Bio17 and Bio19, in contrast to the coordinates of occurrence of *A. grandis*, a MaxEnt model was performed to identify its degree of adequacy in the Brazilian territory. The Linear and Quadratic features, and a regularization multiplier (rm) of 0.5, were selected as parameters. The modeling was carried out with 5000 interactions and 100 bootstrap replications using the Jackknife test to assess the impact of each variable and the designation of 30% of the occurrence points for training and the remainder for validation. The evaluation indicated a satisfactory AUC index of 0.915 and the Jackknife test indicated the variables Bio18, Bio1 and Bio12 as the three most impactful for the model. The results were projected on a map indicating areas of high suitability in the South, Southeast and Midwest regions, low environmental suitability for the North region and points of high suitability in the south of the Northeast, which are shown as entry points for pest dispersion in the region. The Northeast region, in general, showed low susceptibility to the presence of the species, confirming that the ALP is well placed in a region that is not suitable for the development of *A. grandis*, so that its expansion does not presently pose a risk for the introduction of the pest. Some isolated points with a high degree of suitability were identified in the state of Ceará and with the expansion in the state of Rio Grande do Norte, the territory of the ALP is approaching regions with risk above the general average.

Keywords: South American cucurbit fruit fly, Evolutionary Biology, Pest monitoring, Computational modeling

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Pontos de ocorrência da espécie <i>Anastrepha grandis</i> utilizados para a modelagem. Mossoró, RN (2021).	24
Figura 2. Curva de resposta da <i>Anastrepha grandis</i> as variáveis de maior impacto para a modelagem. (a) precipitação durante o trimestre mais quente (mm), (b) temperatura média anual, (c) faixa de temperatura anual, (d) precipitação anual. A linha vermelha representa a média das 100 replicações da modelagem e a área azul representa do desvio padrão. Gráficos gerados automaticamente pelo software MaxEnt. Mossoró, RN (2021).	26
Figura 3. Importância relativa das variáveis climáticas isoladamente para o treino baseadas no teste <i>Jackknife</i> . Mossoró, RN (2021).	26
Fig. 4 - Mapa do Grau de Adequação da espécie <i>Anastrepha grandis</i> no território brasileiro. Mossoró, RN (2021).	28
Figura 5. Mapa dos municípios da Área Livre de Pragas (ALP) validados pela Portaria N° 305, de 12 de maio de 2021. Mossoró, RN (2021).	30
Figura 6. Mapa de adequabilidade ambiental da <i>Anastrepha grandis</i> na Área Livre de Praga (ALP) (a) e dos Estados onde a ALP está situada (b). Mossoró, RN (2021).	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Descrição das variáveis bioclimáticas oferecidas pelo <i>WorldClim</i> (FICK e HIJMANS, 2020). Mossoró, RN (2021).....	20
Tabela 2. Variável, descrição, contribuição (%) e importância da permutação (%) das variáveis na modelagem. Mossoró, RN (2021).....	25

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Af	Clima equatorial
AIC	Akaike information criterion
ALP	Area Livre de Pragas
<i>A. grandis</i>	<i>Anastrepha grandis</i>
Am	Clima tropical úmido
ASC	Action Script Command file
AUC	Area Under the Curve
Aw	Clima tropical, com inverno seco
BSh	Clima Semi-árido quente
Cfa	Clima subtropical, com verão quente
Cfb	Clima temperado, com verão ameno
CRIA, 2020; GBIF	Global Biodiversity Information Facility
MaxEnt	Maximum Entropy
MNE	Modelagens de Nicho Ecológico
MPDE	Modelagens Preditivas de Distribuição de Espécies
MTP	Minimum training presence
NIMF	Normas Internacionais para Medidas Fitossanitárias
Nº	Número
ONPF	Organização Nacional de Proteção Fitossanitária
ROC	Receiver Operating Characteristic
rm	Multiplicador de regularização
tiff	Tag image file format

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 <i>Anastrepha grandis</i>	13
2.2 Área Livre de Pragas	14
2.3 Modelagem Preditiva de Distribuição de Espécies/Modelagem de Nicho Ecológico	15
2.4 Modelagem de distribuição de entropia máxima (MaxEnt)	17
3 OBJETIVOS DA PESQUISA	18
3.1 OBJETIVO GERAL	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS	19
4.1 COORDENADAS DE PONTOS DE OCORRÊNCIA	19
4.2 VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS	19
4.3 DADOS GEOGRÁFICOS	20
4.4 PRÉ-TRATAMENTO DOS DADOS	21
4.5 CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS E VALIDAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES	21
4.6 MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO MODELO	22
4.7 PROJEÇÃO DOS RESULTADOS	23
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
6 CONCLUSÃO	32
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

A produção de variedades de cucurbitáceas é muito proeminente na região nordeste do Brasil, principalmente no estado do Rio Grande do Norte e divisa com o Ceará. Estima-se que entre agosto e dezembro de 2019, a região tenha exportado por volta de 160 mil toneladas de melão, gerando uma receita superior a 100 milhões de dólares (SILVA, 2019). Esse sucesso ocorreu parcialmente pelo fato da região se enquadrar dentro da Área Livre de Pragas (ALP) da mosca-das-frutas *Anastrepha grandis* (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae). Área livre de pragas é uma região determinada pela Organização Nacional de Proteção Fitossanitária (ONPF) onde a ocorrência de uma determinada praga não é apresentada e a sua manutenção é estabelecida por medidas de controle fitossanitário. O estabelecimento de uma ALP varia de acordo com as características biológicas da praga e características ecológicas da região, fatores estes que influenciam na delimitação do tamanho da área (IPPC, 2017).

No Brasil, por volta de sete espécies de *Anastrepha* possuem grande relevância econômica para a fruticultura (NORRBOM, 2008). Para a produção de cucurbitáceas há um grande destaque para *A. grandis* por conta de sua tendência a injuriar frutos do gênero. Seus principais hospedeiros são: abobrinhas, abóbora, melancia, melão e pepinos. Ocorrências de *A. grandis* são reportadas por toda a América do Sul e partes da América Central. No Brasil as principais regiões afetadas são as regiões Centro-Oeste, Sudeste, Sul e estado da Bahia (NORRBOM, 2008). Recentemente a Área livre de pragas da *A. grandis* teve um aumento de sua área total com inclusão de novos municípios, determinados pela portaria nº 305, de 12 de maio de 2021, passando de 14,570 km² para 23,722 km² (BRASIL, 2021). Esse aumento aparentemente deliberado levanta o questionamento se a introdução de novas áreas põe em risco o estabelecimento da praga para a região da ALP.

Nos últimos anos, Modelagens de Nicho Ecológico (MNE) e Modelagens Preditivas de Distribuição de Espécies (MPDE) vêm se tornando ferramentas importantes no combate e prevenção ao estabelecimento de espécies invasoras (GRAHAM *et al*, 2003; PHILLIPS *et al*, 2006; ELITH e LEATHWICK, 2009). Economicamente, o controle preventivo é muito menos custoso do que o controle após a entrada do organismo na região. MNEs utilizam como base em variáveis ambientais para determinar a possível distribuição de um organismo dentro de uma área. Tais variáveis são constituídas de dados numéricos de condições ambientais (precipitação anual, temperatura, umidade etc.) das regiões onde a ocorrência do organismo já foi relatada em contraste tanto com pontos de ocorrência ou de ausência podem ser utilizadas para o desenvolvimento dos modelos (JIANG *et al*, 2018; MACK *et al*, 2000).

MaxEnt é um método de modelagem *presence-only* que vem se tornando muito utilizado para a modelagem de espécies com baixo número de ocorrências por resultar em modelos robustos e de fácil validação (KUMAR *et al.*, 2014; ZHAO *et al.*, 2017). MaxEnt realiza a modelagem correlacionando os pontos de ocorrência da espécie com variáveis ambientais preditoras, assumindo que a melhor distribuição é aquela que apresenta o maior índice de entropia máxima (PHILLIPS *et al.*, 2006; MEROW *et al.*, 2013; RADOSAVLJEVIC *et al.*, 2014).

O presente estudo visou utilizar do modelo de distribuição de entropia máxima (MaxEnt) para determinar a potencial distribuição da *A. grandis* no território nacional brasileiro, e analisar a coerência da atual ALP da mosca-das-frutas proposta pela N° 305, de 12 de maio de 2021, e da região nordeste quanto a sua expansão territorial e probabilidade de introdução dessa praga.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Anastrepha grandis*

A mosca-das-cucurbitáceas-sul-americana, *Anastrepha grandis* (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae), é uma praga nativa proeminente no continente da América do Sul e Central, com presença no território brasileiro nas regiões Sudeste, Sul e Centro-Oeste (NORRBOM, 2008; ZUCCHI 2000 apud BOLZAN, 2017).

O hospedeiro primário da *A. grandis* consiste principalmente de plantas do gênero das cucurbitáceas, da qual se utiliza dos frutos para a oviposição e desenvolvimento do estágio larval, tanto em espécies nativas como introduzidas, mostrando variação na preferência de frutos conforme a localização geográfica (NORRBOM, 2008; BIRKE *et al*, 2013). Dentre os frutos atacados, há destaque para a abobrinha, abobrinha italiana, abóbora, melão, melancia e pepino (NORRBOM, 2008).

O tempo de duração dos estágios de desenvolvimento da *A. grandis* é afetado diretamente pela espécie de planta hospedeira, com a abobrinha (*Cucurbita pepo*) apresentando o menor tempo de desenvolvimento dos estágios iniciais dentre os principais frutos hospedeiros (BOLZAN *et al.*, 2015). Segundo Bolzan (2017), em abobrinhas, as durações do estágio de ovo e pupa são inversamente proporcionais a temperaturas na faixa de 15 a 30 °C, levando uma média de 21 a 6,9 dias no estágio de ovo, e uma média de 52,3 a 16,5 dias para o estágio de pupa. Enquanto isso, o desenvolvimento das larvas mostrou-se numa curva linear na faixa de 15 a 25 °C, com um aumento no tempo de desenvolvimento em temperaturas acima de 30 °C, levando apenas 19 dias a 25 °C e interrompendo o desenvolvimento acima de 35 °C (BOLZAN *et al.*, 2017). Por fim, Bolzan determinou uma média de 79,7 dias para que o inseto complete o ciclo biológico de ovo a adulto, em laboratório, a 17 °C, valor que permitiu definir uma constante térmica para seu desenvolvimento de 858,7 graus-dia.

Quando comparado a espécies de *Anastrepha* já presentes na região, como a *Anastrepha suspensa* (Loew, 1862) (Diptera: Tephritidae), *A. grandis* necessita de um período mais longo de desenvolvimento dos estágios imaturos em temperaturas acima de 25 °C (PRESCOTT, 1971; ARAUJO *et al.*, 2005).

As fêmeas de *A. grandis* utilizam os frutos de cucurbitáceas para realizar oviposição com uma média de 35 ovos por postura, enquanto as larvas, ao eclodirem, utilizam o mesmo fruto para o seu desenvolvimento e pupação (SILVA e MALAVASI, 1996). Silva e Malavasi (1993) demonstraram a maior preferência de hospedar em abóboras comparado ao melão. A

taxa de sobrevivência das larvas também é maior nas abóboras, por volta de 99,8%, enquanto no melão a taxa de sobrevivência ficou por volta de 72,2% (SILVA e MALAVASI, 1993).

Os dados de desenvolvimento da *A. grandis* se mostraram relevantes quanto à duração do ciclo de vida do inseto na região do semiárido, onde a média de temperatura anual varia entre 25 e 28 °C, com máximas de 32 a 34 °C (MOURA, 2007). Com base na constante térmica de 858,7 graus-dia é possível prever uma média de 9 a 10 gerações por ano caso a presença da *A. grandis* venha a ser identificada na região nordeste (SILVA, 2019). A fim de evitar uma crise econômica, esse último autor recomenda com base nos seus resultados um período de até 180 dias de controle quarentenário intensivo para controlar a praga.

Os danos causados pela *A. grandis* aos frutos de cucurbitáceas acaba por torná-la uma praga de importância de controle quarentenário, tanto para o cultivo e produção dos frutos quanto para a sua exportação, sendo que em regiões onde há sua presença, o embargo na exportação acaba por gerar prejuízos financeiros (BOLZAN *et al.*, 2016). No Brasil, a parte da região nordeste representa uma Área Livre de Pragas (ALP) de *A. grandis*, compreendendo parte dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará, zona da qual a presença desse inseto ainda não foi relatada, garantindo um *status* de zona livre, o que acaba por gerar grande importância econômica para a região.

2.2 Área Livre de Pragas

O estabelecimento da Área Livre de Pragas (ALP) da *Anastrepha grandis* (Macquart, 1846) (Diptera: Tephritidae) no Rio Grande do Norte, teve parecer com a Instrução Normativa Nº13 de 31 de março de 2006 (BRASIL, 2006), onde foram definidas as normas para manejo de risco e cultivo de cucurbitáceas na região e dada a todas as partes envolvidas (órgãos governamentais, pequenos e grandes produtores) diretrizes para a manutenção de *status* de ALP.

De acordo com as Normas Internacionais para Medidas Fitossanitárias (NIMF) Nº4 de 1995 (IPPC, 2017), designa-se como Área Livre de Pragas: “Uma área na qual uma praga específica não ocorre como demonstrado por evidência científica e na qual, quando apropriado, esta condição é mantida oficialmente”. Seu objetivo é criar uma zona de importância econômica onde a exportação de produtos vegetais originários desta região são livres da necessidade de controles fitossanitários adicionais. Dessa forma, o *status* de ALP em si pode ser utilizado como

forma de certificação. O escopo da área que pode ser designado como ALP pode variar desde um país inteiro, uma parte não infestada do país onde a praga está presente de maneira limitada ou uma parte não infestada de um país presente em uma área geralmente infestada. Mesmo em regiões onde espécies do mesmo gênero são relatadas, a ausência específica de uma espécie é o suficiente para a determinação da ALP (NASCIMENTO *et al.*, 1993; ARAUJO *et al.*, 2005).

A manutenção e estabelecimento de uma ALP leva em consideração três pontos principais, dos quais as características podem variar de acordo com a espécie, sendo eles:

- a) Um sistema para estabelecimento de uma área livre.
- b) Medidas fitossanitárias para manter a mesma livre de pragas.
- c) Controles que possam verificar a manutenção da área.

Esses pontos são definidos a partir das informações obtidas através da compilação de dados do local, levantamentos sobre a presença da praga, documentações e controles regulatórios (IPPC, 2017). Seguindo as diretrizes propostas pela NIMF N°6 de 1997 (IPPC, 2018), fica de responsabilidade do Órgão Nacional de Proteção Fitossanitária a criação de um sistema que integralize todo tipo de coleta e armazenamento de dados obtidos através do levantamento a respeito da praga específica com o intuito de vigilância.

Considerando a Portaria N° 305, de 12 de maio de 2021 que revalidou o reconhecimento da ALP de *A. grandis* nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, ampliando, inclusive, a ALP (BRASIL, 2021). Análises de predileção por meio de modelagens de distribuição e nichos ecológicos são de fundamentais relevâncias, estabelecendo uma maior segurança para essas ampliações e estabelecimentos de ALP's.

2.3 Modelagem Preditiva de Distribuição de Espécies/Modelagem de Nicho Ecológico

O conhecimento da provável distribuição geográfica de um organismo é uma ferramenta importante para o controle bem-sucedido de uma praga (KUMAR, 2014, 2015; BEYON *et al.*, 2018; JIANG *et al.*, 2018). Os insetos possuem um desenvolvimento diretamente ligado à temperatura do ambiente onde estão inseridos, o que torna a predição de sua distribuição associada ao entendimento do clima (SILVA e MALAVASI, 1996; BOLZAN, 2017). Dessa maneira pode-se dizer que a probabilidade de distribuição de uma espécie de inseto está atribuída ao seu posicionamento dentro de um ecossistema levando em consideração todos os fatores bióticos e abióticos que se fazem necessários para a sua sobrevivência, por definição, seu nicho ecológico (POLECHOVÁ, 2019).

Hutchinson (1957) idealiza dois tipos de nicho, o nicho fundamental do qual engloba todas as variáveis ecológicas necessárias para a sobrevivência da espécie e o nicho realizado, um subconjunto do nicho fundamental onde se faz presente de tanto as variáveis ambientais quanto às interações entre organismos para definir onde a espécie está realmente presente. Um nicho é, em sua essência, uma área criada a partir dos valores das variáveis ecológicas pertinentes à sobrevivência da espécie colocadas em coordenadas espaciais. Esse conceito pode ser utilizado como base para calcular a distribuição de uma espécie e validar os seus resultados, utilizando-se da correlação entre as variáveis ecológicas da espécie e dados geográficos para a criação de um Modelo Preditivo (ELITH e LEATHWICK, 2009).

Existem dois principais tipos de Modelagem Preditiva de Espécies (MPE):

- a) **Modelagem Correlativa:** que utiliza da correlação entre as variáveis ambientais locais com as informações da distribuição observada (ELITH e LEATHWICK, 2009).
- b) **Modelagem Mecanicista:** que leva em consideração as características fisiológicas do organismo como variável para determinar a sua distribuição, fatores limitantes e respostas fisiológicas ao ambiente contextualizado (KEARNEY, 2009).

Informações da ocorrência e ausência de uma espécie são utilizadas como base para o desenvolvimento dos modelos, quando ambos os tipos de informação estão presentes, estatística básica pode ser utilizada para avaliação (CORSI *et al.*, 1999; PETERSON e SHAW, 2003; PHILLIPS, 2006).

A presença ou ausência de certas características, como por exemplo, a presença de espécies predadoras ou ausência de espécies hospedeiras, são fatores limitantes para a real probabilidade de distribuição de uma praga em determinada área. Jiang (2018) associou a baixa probabilidade de distribuição da *Cydia pomonella* (Linnaeus, 1758) (Lepidoptera: Tortricidae) em algumas regiões da China ao fato da ausência ou baixa incidência de plantas hospedeiras.

O avanço tecnológico dos últimos anos vem permitindo o surgimento de novos métodos de modelagem preditiva, dentre eles MaxEnt (PHILLIPS, 2006) que vem se tornando o método mais popular nessa área de estudo (ZHAO, 2017).

2.4 Modelagem de distribuição de entropia máxima (MaxEnt)

Modelos de predição da distribuição de espécies que utilizam apenas informações da presença da espécie são de grande relevância para o estudo estatístico (GRAHAM *et al.*, 2004; PHILLIPS, 2006).

MaxEnt é um método de predição estatística que assume que a melhor representação da real distribuição é aquela que possui o maior estado de entropia ou mais próxima de uma distribuição uniforme. Esse método é composto por dois componentes principais: a Entropia, dada por um valor de somatória igual a 1, e os *Features*, que são um conjunto de transformações algorítmicas que impõe restrições a distribuição diminuindo o valor da entropia em cada ponto (PHILLIPS, 2006).

MaxEnt possui uma série de vantagens e desvantagens na sua utilização como modelo preditivo. Dentre suas maiores vantagens está à capacidade de fazer presunções precisas sobre a distribuição com dados incompletos ou de pequenas amostras, e o fato de precisar apenas de dados de ocorrência e dados climáticos para sua predição. Em contrapartida, suas maiores desvantagens estão na necessidade de se realizar presunções dos seus dados de ocorrência e dados estatísticos, em vez de se obter dados exatos, e a possibilidade de *overfitting*, que acaba por limitar a sua capacidade de generalizar efetivamente com dados independentes (PHILLIPS, 2006; KUMAR, 2014; ZHAO, 2017).

MaxEnt utiliza uma lista de locais de ocorrência da espécie e uma série de variáveis ambientais dentro de uma área definida pelo usuário, ao contraste dos locais de presença o algoritmo pega amostra de locais aleatórios para onde a presença não é medida e utiliza como base da probabilidade de presença da espécie (MEROW, 2013). Kumar (2014) demonstrou o alto poder preditivo do método de modelagem MaxEnt calculando o risco potencial da introdução da praga *Phenacoccus solenopsis* (Tinsley, 1898) (Hemiptera: Pseudococcidae) em plantações de algodão utilizando-se apenas de coordenadas de ocorrência a nível municipal onde as coordenadas precisas dessa praga não estão disponíveis.

3 OBJETIVOS DA PESQUISA

3.1 OBJETIVO GERAL

Determinar a potencial distribuição da *Anastrepha grandis* no território brasileiro e analisar a coerência da Área Livre de Pragas validada pela portaria Nº 305, de 12 de maio de 2021.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a modelagem da distribuição da *A. grandis* através de MaxEnt no território brasileiro.
- Correlacionar a probabilidade de distribuição da *A. grandis* com a atual ALP da Mosca-das-Cucurbitáceas-Sul-Americana.
- Fazer inferências quanto ao risco de ocorrência da praga em diversas regiões brasileiras.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COORDENADAS DE PONTOS DE OCORRÊNCIA

Os pontos de ocorrência da mosca das frutas sul-americana (*Anastrepha grandis*) foram coletadas das mais diversas fontes. Registros em trabalhos científicos foram encontrados utilizando como palavras-chave os termos: *Anastrepha grandis*, mosca-das-cucurbitáceas sul-americana e South America Cucurbit Fruit Fly (GARCIA *et al.*, 1998; UCHOA-FERNADES *et al.*, 2003; MARTINEZ *et al.*, 2005; GARCIA *et al.*, 2006; SILVA, F. *et al.*, 2006; PIROVANI *et al.*, 2010; VELOSO *et al.*, 2012; RABELO *et al.*, 2013; FUNEZ, 2014; DUARTE *et al.*, 2016; BOLZAN *et al.*, 2017; ABAD *et al.*, 2018; SILVA, P. *et al.*, 2019). Coordenadas também foram obtidas a partir de bancos de dados de monitoramento de espécies (CRIA, 2020; GBIF, 2021) e sites institucionais (IB-APTA, 2020).

4.2 VARIÁVEIS BIOCLIMÁTICAS

As camadas climáticas utilizadas como base para modelagem foram obtidas da plataforma *WorldClim* (FICK e HIJMANS, 2020) nas resoluções espaciais de 2.5min equivalente a 5 km por pixel. Foi utilizada a versão 2.1, lançada em janeiro de 2020, que corresponde a 19 variáveis climáticas, padronizadas pela plataforma, com diferentes valores climáticos entre os anos de 1970-2000. As variáveis são compostas por imagens *raster* no formato de arquivo *tiff* onde cada pixel contém o valor numérico da variável em questão para aquele ponto específico.

Os valores incluem tendências anuais, fatores climáticos limitantes e sazonalidade climática (**Tabela 1**).

Tabela 1. Descrição das variáveis bioclimáticas oferecidas pelo *WorldClim* (FICK e HIJMANS, 2020). Mossoró, RN (2021).

Variáveis	Descrição
BIO1	Média anual de temperatura
BIO2	Gama diurna média
BIO3	Isotermalidade
BIO4	Sazonalidade de temperatura
BIO5	Temperatura máxima no mês mais quente
BIO6	Temperatura máxima no mês mais frio
BIO7	Faixa anual de temperatura
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido
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 úmido
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade de precipitação
BIO16	Precipitação do trimestre mais úmido
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio

4.3 DADOS GEOGRÁFICOS

Para o processamento dos dados das variáveis climáticas, coordenadas e avaliação da modelagem, foram utilizadas as informações de ocorrência geográfica dos países em que apresentam a espécie estudada e seus países vizinhos. Os dados em questão equivalem a uma camada vetorial, na forma de um polígono, no molde da divisão administrativa do país e suas

subdivisões, disponibilizados pela plataforma *GADM* (GADM, 2021) no formato de arquivos *GeoPackage* para uso acadêmico.

Obtiveram-se as camadas de todos os países da parte continental da América do Sul e América Central a nível de divisão nacional, também a nível estadual e municipal para o Brasil.

4.4 PRÉ-TRATAMENTO DOS DADOS

Anteriormente à modelagem, os dados obtidos passaram por diversos tratamentos. Primeiramente, os pontos de ocorrência que não se apresentavam em graus decimais foram convertidos para o mesmo utilizando a calculadora de conversão disponibilizada no site da *Federal Communication Commission* (FCC, 2021). As coordenadas duplicadas foram removidas utilizando a função *cc_dupl* do pacote *CoordinateCleaner* (ZIZKA *et al.*, 2018) disponível para R (R Core Team, 2021), e passaram por uma rarefação a fim de manter uma distância mínima de 10 km entre os pontos, evitando *overfitting*, utilizando-se a função *rarefy* do pacote *Humboldt* (BROWN *et al.*, 2019). No final sobraram um total de 49 coordenadas para o processo de modelagem.

As coordenadas foram projetadas no software open-source QGIS versão 3.2 (QGIS, 2021), em um mapa composto das camadas vetoriais das áreas administrativa dos países da América do Sul e América Central, e das camadas de *raster* das variáveis climáticas, padronizando-se o projeto para a norma de projeção EPSG:4326 - WGS 84.

Em seguida, as camadas vetoriais foram fundidas em um único polígono e suas bordas internas foram dissolvidas formando uma única camada composta pelo contorno continental englobando a área de distribuição nativa da espécie. Esse polígono foi utilizado como máscara para realizar o recorte das *rasters*, obtendo-se as variáveis apenas da área de interesse do estudo. Por fim as *rasters* obtidas foram convertidas do formato *GeoTiff* para *ASC* mantendo-se a sua resolução de entrada.

4.5 CORRELAÇÃO DE VARIÁVEIS E VALIDAÇÃO DAS CONFIGURAÇÕES

As variáveis climáticas foram submetidas ao teste de correlação de Pearson para identificar quais possuem alto grau de correlação entre si. Variáveis que apresentaram um coeficiente $r > 0.7$ e $r < -0.7$ foram descartadas e as variáveis restantes a serem utilizadas no

modelo foram selecionadas baseando-se na sua importância para a biologia e desenvolvimento do inseto. Com o intuito de diminuir alta complexidade do modelo e evitar problemas de *overfitting*, apenas oito das variáveis foram selecionadas no final, sendo elas: Temperatura anual média (Bio1), Amplitude térmica diária (Bio2), Isotermalidade (Bio3), Variação de temperatura média anual (Bio7), Precipitação Anual (Bio12), Precipitação média no mês mais úmido (Bio13), Precipitação no trimestre mais seco (Bio17) e Precipitação no Trimestre mais quente (Bio18).

Um teste de avaliativo foi realizado para determinar as melhores configurações a serem empregadas na modelagem MaxEnt (PHILLIPS *et al.*, 2006). Essa avaliação foi realizada utilizando a função *ENMevaluate* do pacote *ENMeval* (KASS, 2021), disponível para R, onde o algoritmo efetua automaticamente diversas modelagens, através de uma variedade de configurações, e demonstra o modelo mais adequado através do valor do Critério de Informação de Akaike AIC e *Delta* AIC. Quanto mais próximo de zero estiver o *Delta* AIC mais adequado estão às configurações para os dados empregados.

As duas principais configurações para a modelagem MaxEnt são as classes de *Feature* e o multiplicador de regularização (rm). A avaliação do AIC indicou as *features Linear + Quadratic* com um multiplicador de regularização de 0.5 como os melhores parâmetros para o modelo.

4.6 MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO MODELO

A modelagem foi realizada utilizando o software MaxEnt versão 3.4.4 dentro das configurações previamente obtidas. Um total de 5000 iterações foram utilizadas com 100 repetições do tipo *bootstrap* designando 30% dos pontos de ocorrência como pontos de teste, o restante como treino e o valor padrão de 10000 pontos aleatórios como pontos de *Background* (TEIXEIRA *et al.*, 2021).

Os cálculos de validação da modelagem foram realizados pelo próprio programa. O índice de área abaixo da curva ROC (AUC) foi obtido a partir do cálculo da média do valor AUC de todas as repetições, gerando um gráfico correspondente. O teste de *Jackknife* disponível no programa foi empregado para determinar o grau de contribuição que cada variável bioclimática utilizada teve na modelagem.

Como o objetivo é averiguar o potencial grau de adequabilidade da espécie, o Limiar Mínimo de Presença (MTP) foi imposto. O valor MTP representa o valor mínimo, entre todos

os pontos de ocorrência, que apresenta adequabilidade para a presença da espécie. Em uma projeção esse valor pode ser interpretado como o limiar entre a baixa adequabilidade da espécie naquele pixel e a improbabilidade de adequação (PEARSON *et al.*, 2007; RADOSAVLJEVIC, 2014).

4.7 PROJEÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados da modelagem foram projetados no software QGIS para avaliação e desenho dos mapas utilizados neste trabalho. MaxEnt atribui a cada pixel um valor de 0 a 1 que pode ser representado em um gradiente de cor pelo software. Esse valor numérico é interpretado como o maior grau de adequabilidade da espécie e não a sua probabilidade de presença (PEARSON *et al.*, 2007). Para valores mais próximos de zero atribuiu-se cores mais frias e para valores mais próximos de 1, cores mais quentes. Quinze classes de cores foram atribuídas, pelo programa, ao valor dos pixels em intervalos iguais de aproximadamente 0,07 e o mapa desenhado com uma interpolação linear das cores.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um total de 168 dados de coordenadas foram obtidos entre os anos de 1938 e 2018, 114 coordenadas duplicadas foram eliminadas e, após a rarefação, eliminando coordenadas mais próximas que 10 km, um restante de 49 coordenadas acabou sendo utilizado no algoritmo MaxEnt. As ocorrências de *Anastrepha grandis* utilizadas para a modelagem estão distribuídas na maioria dos países da América do Sul, com pontos de ocorrência encontrados na Colômbia, Peru, Bolívia, Paraguai, Argentina e Brasil (**Figura 1**). Um ponto de ocorrência é encontrado no Panamá, indicando sua presença também na América Central. No Brasil, sua presença está limitada às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

Figura 1. Pontos de ocorrência da espécie *Anastrepha grandis* utilizados para a modelagem. Mossoró, RN (2021).



Fonte: Autor, 2021.

A espécie se enquadra principalmente em zonas de clima tropical e subtropical (Am, Aw, Cfa, Cfb) com grau de precipitação variado ao longo do ano, na classificação Köppen-Geiger (BECK *et al.*, 2018).

MaxEnt realizou a modelagem utilizando 48 dos 49 pontos resultantes da rarefação, eliminando uma coordenada situada em um pixel que não apresentava dados em algumas das camadas climáticas. O algoritmo considerou 34 pontos aleatórios como treino a cada replicação

para a modelagem e 14 pontos para a validação do modelo. A média do índice da área abaixo da curva *ROC* foi de 0,915 com um desvio padrão de 0,0378, indicando uma excelente performance da modelagem. Quanto mais próximos de 1 for o valor de AUC, mais distintas as informações estão de um conjunto predições aleatórias, onde, um valor acima de 0,75 apresenta distinção significativa para ter utilidade como informação (ELITH *et al.*, 2002). O valor do limiar mínimo de presença (MTP) da modelagem foi de 0,0769.

O teste de *Jackknife* indicou BIO18, BIO1 e BIO12 como as três variáveis de maior contribuição para a modelagem (**Tabela 2**).

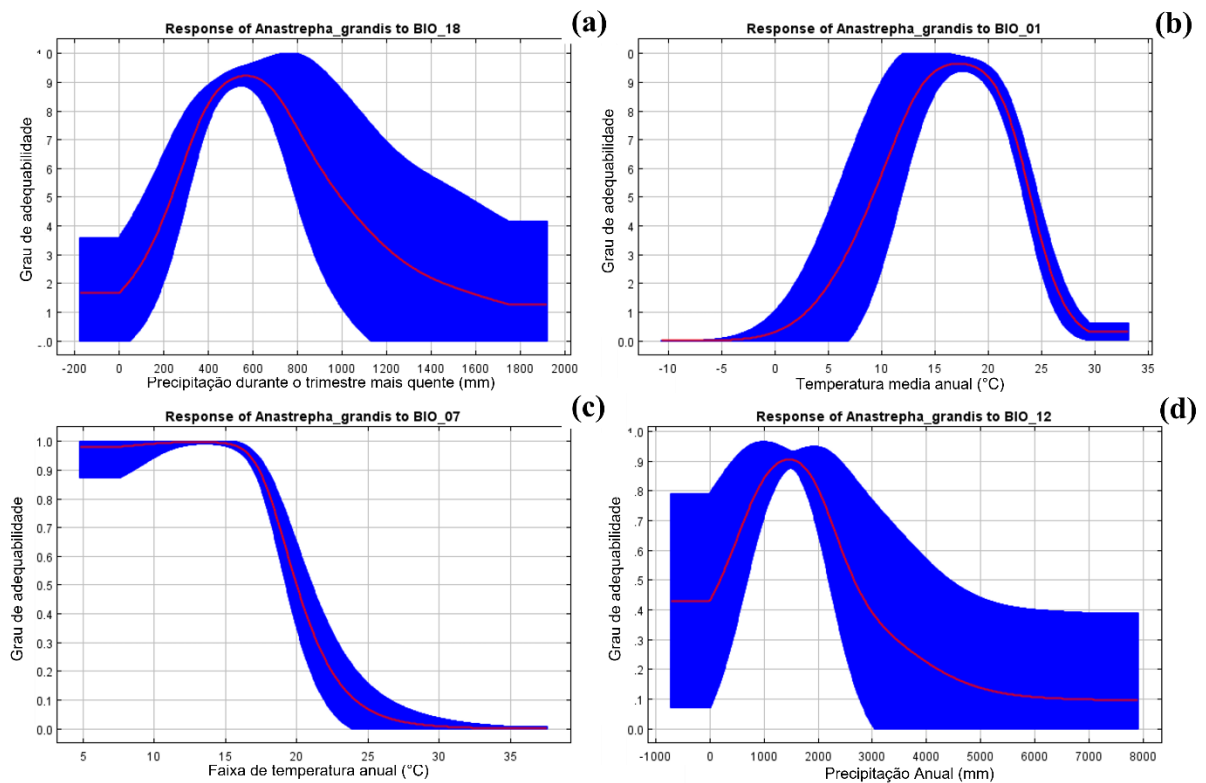
Tabela 2. Variável, descrição, contribuição (%) e importância da permutação (%) das variáveis na modelagem. Mossoró, RN (2021).

Variável	Descrição	Contribuição (%)	Importância da permutação (%)
BIO18	Precipitação no trimestre mais quente	30.2	9.6
BIO1	Temperatura média anual	25.1	21.9
BIO12	Precipitação anual	15	12.4
BIO7	Faixa anual de temperatura	8.7	29
BIO13	Precipitação no mês mais úmido	8	3.4
BIO3	Isotermalidade	6.7	12.7
BIO2	Gama diurna média	3.6	7.6
BIO17	Precipitação no trimestre mais seco	2.6	3.4

A camada BIO18, precipitação no trimestre mais quente, teve o maior percentual de contribuição, enquanto BIO1, temperatura média anual, como variável de maior influência para o ganho isoladamente (**Figura 2 e Figura 3**).

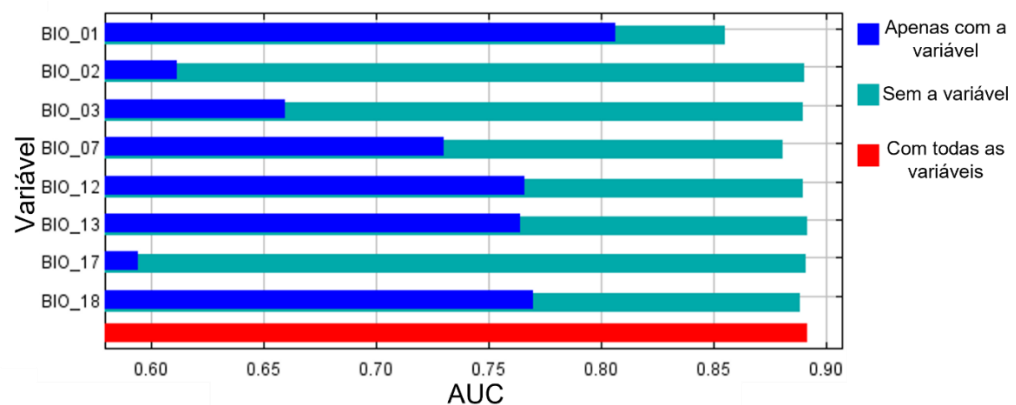
Já BIO7, faixa anual de temperatura, deteve a maior importância na permutação dos resultados do teste de *Jackknife*. A importância da permutação é um indicativo do impacto dos valores da variável no AUC dos pontos de treino medindo o nível de decrescimento desse valor, quanto maior o decrescimento maior dependência para a modelagem.

Figura 2. Curva de resposta da *Anastrepha grandis* as variáveis de maior impacto para a modelagem. (a) precipitação durante o trimestre mais quente (mm), (b) temperatura média anual, (c) faixa de temperatura anual, (d) precipitação anual. A linha vermelha representa a média das 100 replicações da modelagem e a área azul representa do desvio padrão. Gráficos gerados automaticamente pelo software MaxEnt. Mossoró, RN (2021).



Fonte: Autor, 2021

Figura 3. Importância relativa das variáveis climáticas isoladamente para o treino baseadas no teste *Jackknife*. Mossoró, RN (2021).



Fonte: Autor, 2021

A espécie demonstrou uma maior resposta as variáveis de temperatura na faixa de 15°C a 20°C (**Figura 2b e 2c**), já o indicativo da precipitação durante o trimestre mais quente,

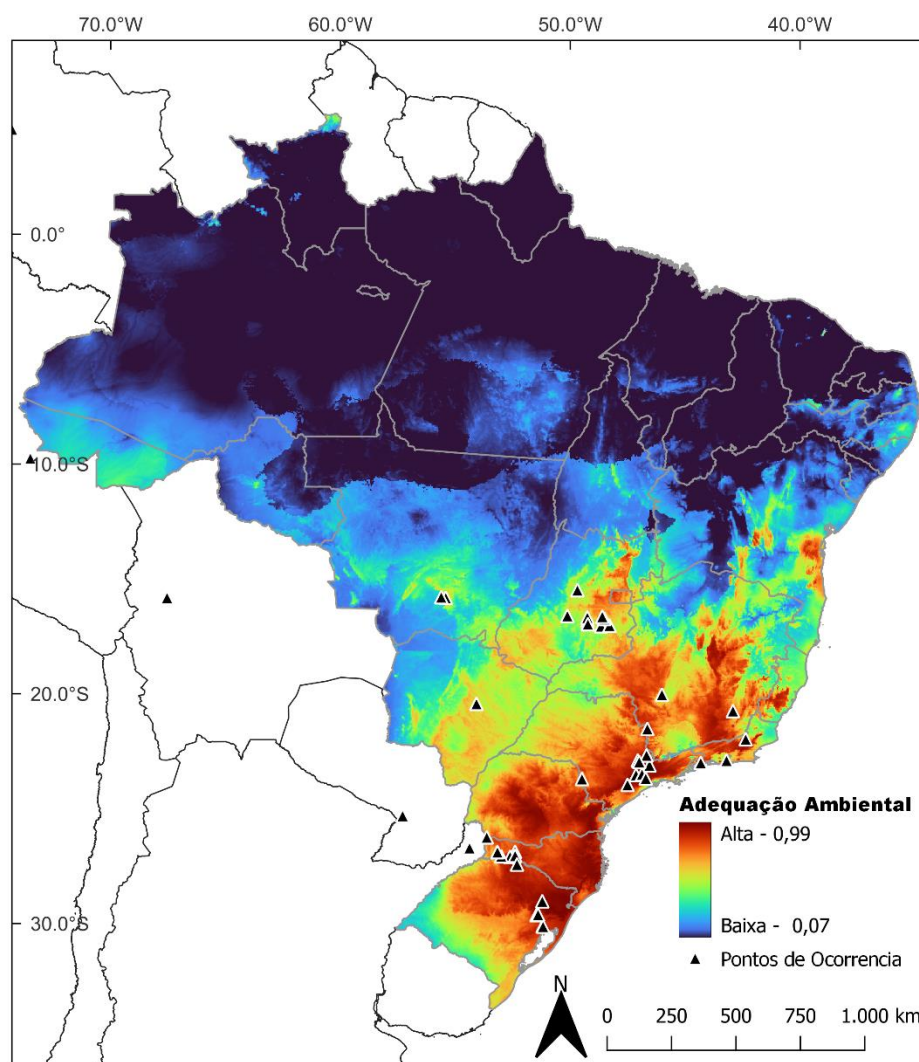
demonstra que espécie está mais condicionada para faixas entre 400 e 600 mm durante esse período, e precipitações anuais entre 1000 e 2000 mm (**Figura 2a e 2d**). Não é de nenhuma surpresa que fatores climáticos como temperatura e precipitação são importantes para a adequabilidade do inseto ao ambiente (BOLZAN *et al.*, 2017; MESQUITA FILHO *et al.*, 2021). O alto grau de contribuição das camadas BIO1 e BIO12 é indicativo da correlação entre a ocorrência da espécie e esses fatores climáticos em particular. Uma análise dos pontos de ocorrência na camada BIO1 revela um valor médio de temperatura de 20.5 °C, corroborando com a faixa de temperatura ótima para o desenvolvimento do inseto proposta por Bolzan *et al.* (2017).

A variável BIO18, precipitação no trimestre mais quente, teve a maior porcentagem de contribuição (30,2%) para a modelagem. Essa variável é um fator limitante, permitindo interpretar que esse aspecto climático delimita a distribuição da espécie em áreas que apresentam condições ideais de temperatura e precipitação. BIO3, isothermalidade, e BIO12, precipitação anual, que ocupam a terceira posição com aproximadamente a mesma porcentagem de permutação (12,7% e 12,4%, respectivamente). A BIO3, calculada entre a razão da gama diurna média (BIO2) e a faixa anual de temperatura (BIO7), indica a média de oscilação da temperatura durante o dia comparado a oscilação da temperatura anualmente (O'DONNELL *et al.*, 2012). Dessa forma, no modelo, a isothermalidade é interpretada como a resposta da espécie as variações de temperatura durante o dia em um mês em comparação a variação ao longo do ano. Se levar em consideração a contribuição dada pela BIO18 e a importância da permutação dessas variáveis, é possível levantar a hipótese que a distribuição da espécie está ligada a faixa de temperatura anual ideal para seu desenvolvimento e que seu sucesso é limitado sazonalmente a condições ideais de precipitação e temperatura.

A modelagem demonstrou que áreas de alta adequabilidade se concentram principalmente nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (**Figura 4**). Essa área apresenta uma dominância de clima tipo subtropical com verões quentes e sem estações secas (Cfa e Cfb) e uma temperatura média de 19,2 °C entre os pontos de ocorrência, condição considerada ótima para o desenvolvimento da espécie (BOLZAN *et al.*, 2017; BECK *et al.*, 2018). O Centro-Oeste, a segunda região com mais dados de ocorrência obtidos no presente trabalho, é caracterizado por pequenas zonas de alta adequabilidade e zonas de adequabilidade mediana. O clima predominante da região é exclusivamente o Clima tropical de savana (Aw) com uma média de temperatura de 22,8 °C entre a área de ocorrência da espécie e um período de estação seca bem definido.

As regiões Norte e Nordeste apresentaram um menor índice de adequabilidade quando comparado às outras. A região Norte é caracterizada por dois tipos de clima dominantes, o Clima equatorial (Af) e o Clima tropical úmido (Am), que tem como principal aspecto a alta taxa média de precipitação e curta, ou total ausência, de uma estação seca (HESS e TASA, 2017; BECK *et al.*, 2018). A média de temperatura mensal nessa região fica em torno de 27 °C e variando anualmente na faixa de 1-2 °C (HESS e TASA, 2017). Essa faixa de temperatura é mais alta do que a média anual dos pontos de ocorrência (20,8 °C) e pode impactar no desenvolvimento e fecundidade da espécie (BOLZAN *et al.*, 2017). Entretanto, *A. grandis* está presente em outras regiões da América do Sul e Central que apresenta as mesmas condições climáticas, inferindo que o baixo grau de adequabilidade não limita a possibilidade de entrada da espécie na região (TAHUA, 2014; FUNEZ, 2017).

Fig. 4 - Mapa do Grau de Adequação da espécie *Anastrepha grandis* no território brasileiro. Mossoró, RN (2021).



Fonte: Autor, 2021

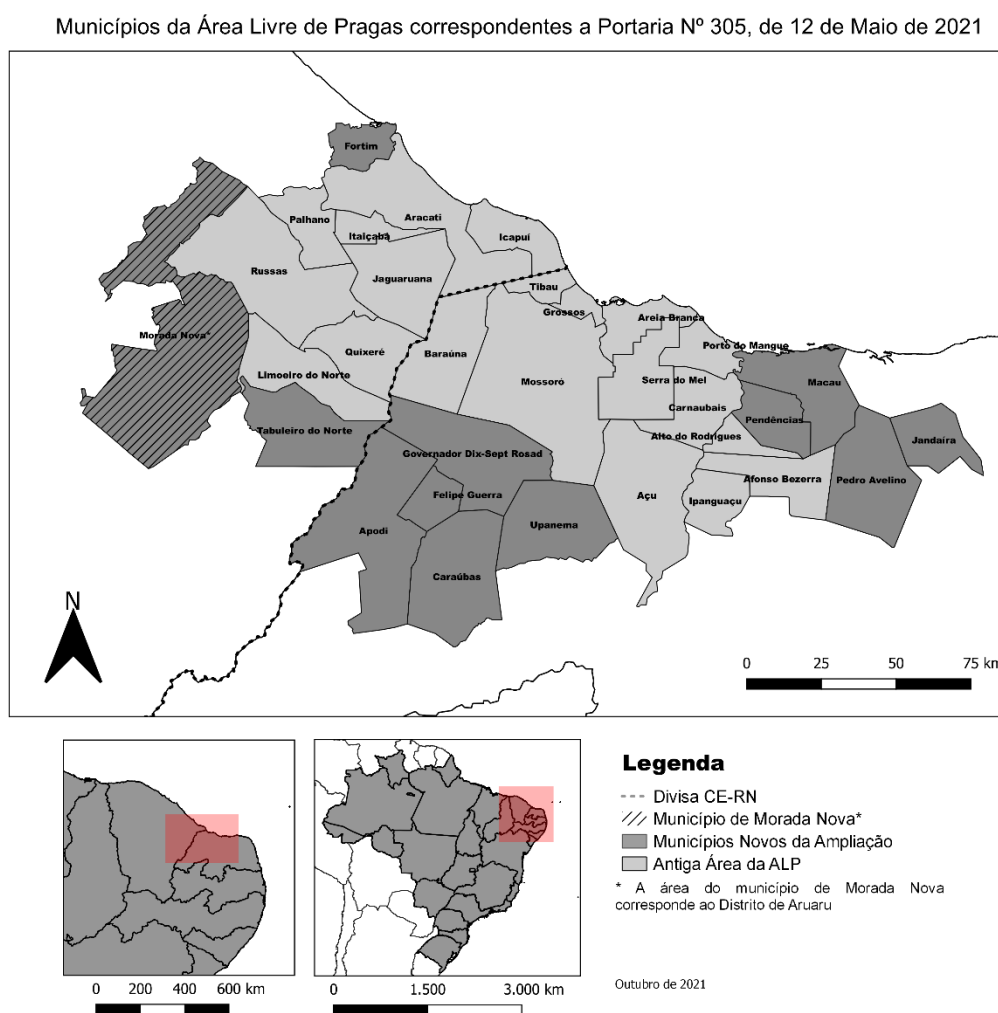
A região Nordeste, foco deste estudo, apresentou baixo grau de adequabilidade nas na maioria dos estados, principalmente nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, onde a ALP está inserida, Maranhão e Piauí. Áreas de alta adequabilidade estão presentes ao longo da costa do Nordeste, principalmente no estado da Bahia, que geram condições facilitadoras à possível dispersão da espécie para a Area Livre de Pragas.

A zona de baixa adequabilidade se sobrepõe a área de clima tipo Semiárido (BSh), proposta pela classificação climática Köppen-Geiger (BECK *et al.*, 2018). Esse tipo de clima possui características bem distintas, marcado pelas altas médias de temperatura mensal, por volta dos 30 °C, e taxa de precipitação baixa e incerta ao longo do ano (HESS e TASA, 2017; BECK *et al.*, 2018). Essa combinação de fatores faz com que a região seja ideal para a sustentabilidade da área livre de pragas da mosca-das-frutas *A. grandis*. Como demonstrado por Bolzan *et al.* (2017), a capacidade reprodutiva da espécie e viabilidade das fases imaturas é drasticamente reduzida quando a temperatura se aproxima da faixa de 30 °C, e podendo ter seu desenvolvimento embrionário interrompido em temperaturas na faixa de 35 °C. Entretanto, esse clima também é conhecido por altas variações na faixa de temperatura ao longo do ano, com períodos durante o inverno em que a média de temperatura chega na faixa dos 20 °C e, com uma taxa de precipitação incerta, que podem gerar períodos apropriados para o desenvolvimento da praga (HESS e TASA, 2017; BECK *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2019).

A análise dos resultados da modelagem para a região demonstrou que a atual área territorial da ALP (**Figura 5**) se enquadra perfeitamente dentro de uma zona de baixa adequabilidade para a espécie (**Figura 6**). A média do grau de adequabilidade foi de 0,012, se mostrando bem abaixo do limiar mínimo de presença de 0,0769 (**Figura 6a**). Até mesmo o ponto de maior adequabilidade ficou abaixo do limiar com um valor máximo de 0,05.

Quando comparado às áreas ao redor, o ponto que se aproximou mais de uma zona de alta adequabilidade foi à parte da ALP pertencente ao estado do Rio Grande do Norte, que apresenta uma área de maior adequabilidade ao Leste do estado (**Figura 6b**). No estado do Ceará, zonas de maior adequabilidade são encontradas ao Sul do estado, na fronteira com o estado do Piauí e uma zona isolada na parte Central correspondente aos municípios de Aratuba, Mulungu, Guaramiranga e Pacoti. A média geral dos dois estados ficou por volta de 0,033, com o maior ponto de adequação alcançando um grau de 0,65, mostrando um baixo índice em toda a região.

Figura 5. Mapa dos municípios da Área Livre de Pragas (ALP) validados pela Portaria N° 305, de 12 de maio de 2021. Mossoró, RN (2021).



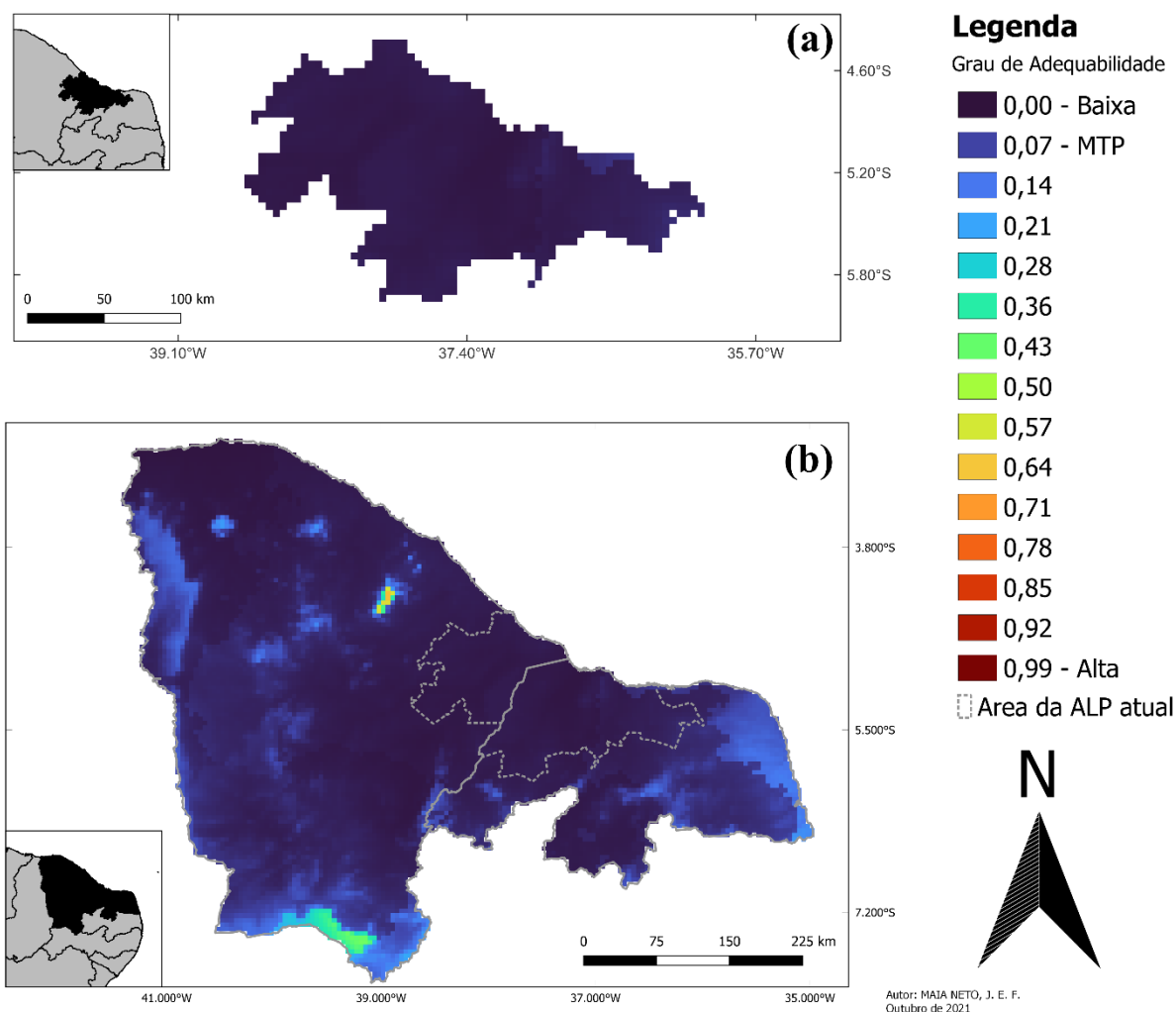
Fonte: Autor, 2021

A manutenção do *status* de Área livre de pragas de *A. grandis* é um ponto importante para a conservação dos aspectos sociais e econômicos da região a qual está situada. O emprego de modelos computacionais de distribuição de espécies vem se tornando um método importante para o controle e gestão de pragas (KUMAR *et al.*, 2014; ZHAO *et al.*, 2015; MÉNDEZ-VÁZQUEZ *et al.*, 2019). O entendimento da distribuição potencial e de fatores limitantes para o desenvolvimento do inseto cria uma arma preventiva no combate a invasão de uma praga de grande impacto econômico.

Recentemente a portaria N° 305, de 12 de maio de 2021, revalidou o status de área livre de pragas à região do semiárido entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, e fez a inclusão de novos municípios como parte da Área Livre de Pragas (ALP), aumentando a sua área total de 14,570 km² para 23,722 km² (BRASIL, 2021). Se esse tipo de decisão for realizado sem baseamento científico e levando em consideração a capacidade adaptativa da praga para a

região ele pode acabar pondo em risco a manutenção desse *status* em caso de novos municípios acabarem se enquadrando em zonas de alta adequabilidade para a espécie, aumentando o risco de dispersão da praga para a ALP.

Figura 6. Mapa de adequabilidade ambiental da *Anastrepha grandis* na Área Livre de Praga (ALP) (a) e dos Estados onde a ALP está situada (b). Mossoró, RN (2021).



Fonte: Autor, 2021

Como os fatores climáticos se mostram tão importantes para a distribuição da *A. grandis*, deve-se levar em consideração as atuais mudanças climáticas. Em cenários futuros em que as alterações climáticas mudarem o panorama do clima da região, esse mapa de adequabilidade irá acabar mudando. Por conta disso a utilização de modelagens computacionais preditivas pode mostrar o caminho futuro a distribuição da praga e guiar a tomada de decisões relacionadas a ALP.

6 CONCLUSÃO

Os resultados da modelagem MaxEnt demonstraram que a Área Livre de Pragas (ALP) associada à Mosca-das-Frutas-Sul-Americana *Anastrepha grandis* está situada dentro de uma Zona de Baixa Adequabilidade Ambiental para introdução e/ou permanência de *A. grandis*.

A expansão recentemente proposta na Portaria Nº 305, de 12 de maio de 2021, reconhecendo a Área Livre da Praga (ALP) de *Anastrepha grandis* nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, não coloca em risco a manutenção do *status* de ALP da região.

A média de temperatura anual e precipitação foram os fatores climáticos mais relevantes para a distribuição de *Anastrepha grandis*, tendo a média de precipitação durante o trimestre mais quente como fator limitante para essa espécie.

Zonas de alta adequabilidade estão concentradas nas áreas de clima subtropical das regiões Sul e Sudeste, com regiões que se estendem pelo sul da Bahia que podem se mostrar como facilitadoras para a dispersão da espécie na região Nordeste.

Anastrepha grandis se encontra em grande parte dos países da América Latina, tendo prevalência em climas do tipo Tropical e Subtropical próximos a linha do equador e do trópico de capricórnio.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABAD, C. E.; GREGORIO, L. M.; BERNABÉ, A. L.; DENIS, U.; RAMIRO, J. Modelo de fluctuación poblacional de moscas de la fruta *Ceratitis capitata* (Wiedemann 1824) y *Anastrepha* spp (Diptera: Tephritidae) en dos rutas en el municipio de Caranavi, Bolivia. **Journal of the Selva Andina Research Society**, v. 9, n. 1, fev. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942018000100002>. Acesso em: 13/11/2021.
- ARAUJO, E. L.; MEDEIROS, M. K. M.; SILVA, V. E.; ZUCCHI, R. A. Moscas-das-Frutas (Diptera: Tephritidae) no Semi-Árido do Rio Grande do Norte: Plantas Hospedeiras e Índices de Infestação. **Neotropical Entomology**, v. 34, n. 6, p. 889-894, nov., 2005.
- BEYON, D.; JUNG, S.; LEE, W. Review of CLIMEX and MaxEnt for studying species distribution in South Korea. **Journal of Asia-Pacific Biodiversity**, v. 11, n. 3, p. 325-333, set. 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.japb.2018.06.002>>. Acesso em: 25 nov. 2020.
- BECK, H. E.; ZIMMERMANN, N. E.; MCVICAR, T. R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, [s. l.], ano 180214, v. 5, 30 out. 2018. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/sdata2018214>>. Acesso em: 2 nov. 2021.
- BIRKE, A.; GUILLÉN, L.; MIDGARDEN, D.; ALUJA, M. Fruit Flies *Anastrepha ludens* (Loew), *A. obliqua* (Macquart) and *A. grandis* (Macquart) (Diptera: Tephritidae): Three Pestiferous Tropical Fruit Flies That Could Potentially Expand Their Range to Temperate Area. In: PENÃ, Jorge (Ed.). **Potential Invasive Pests of Agricultural Crops**. Boston: CABI, 2013. p. 192-213.
- BOLZAN, A.; NAVA, D. E.; GARCIA, F. R. M.; VALGAS, R. A.; SMANIOTTO, G. Biology of *Anastrepha grandis* (Diptera: Tephritidae) in Different Cucurbits. **Journal of Economic Entomology**, v. 108, n. 3, p.1034-1039, jun. 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jee/fov056>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

BOLZAN, A.; DIEZ-RODRIGUES, G. I.; GARCIA, F. R. M.; NAVA, D. E. ***Anastrepha grandis*: bioecologia e manejo**, Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 24 p. (Embrapa Clima Temperado, Documentos, 404).

BOLZAN, A.; NAVA, D. E.; SMANIOTTO; VALGAS, R. A.; GARCIA, F. R. M. Development of *Anastrepha grandis* (Diptera: Tephritidae) under constant temperatures and field validation of a laboratory model for temperature requirements. **Crop Protection**, v. 100, p. 38-44, out. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2017.06.001>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 13, de 31 de março de 2006. **Estabelece, para fins de Certificação Fitossanitária com Declaração Adicional, a condição para Área Livre de Praga (ALP)**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 abril 2006. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/conjurnormas/index.php>>. Acesso em: 28 nov. 2020

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Portaria Nº 305, de 12 de maio de 2021. **Revalida o reconhecimento da área livre da praga *Anastrepha grandis* nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 maio 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-305-de-12-de-maio-de-2021-320067250>>. Acesso em: 30 out. 2021.

BROWN, J. L.; CARNAVAL, A. C. A tale of two niches: methods, concepts, and evolution. **Frontiers of Biogeography**, v. 11, n. 4, 2019. Disponível em: <<https://escholarship.org/uc/item/5gc3c3pj>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

CORSI, F.; DUPRÈ, E.; BOITANI, L. A Large-Scale Model of Wolf Distribution in Italy for Conservation Planning. **Conservation Biology**, v. 13, n. 1, p. 150-159, fev., 1999. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2641574>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

CRIA. **SpeciesLink**. 2020. Disponível em: <<https://specieslink.net/>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

DUARTE, P. A. S.; GARCIA, F. R. M.; ANDALÓ, V. Análise faunística e densidade populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomares localizados na região Centro-oeste de Minas Gerais, Brasil. **Bioscience Journal**, jul. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/BJ-v32n4a2016-33321>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

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, p. 677-697, dez., 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>> Acesso em: 26 nov. 2020.

FCC. **FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION**. 2021. Disponível em: <<https://www.fcc.gov/media/radio/dms-decimal>>. Acesso em: 18 out. 2021.

FICK, S.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, mai. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/joc.5086>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

FUNEZ, X. I. E. **Características Biológicas de *Anastrepha grandis* (Macquart, 1846) En Relación Con Su Hospedero Natural *Fevillea cordifolia* En Darién Panama**. 2014. 114f. Monografia (Graduação em Ciências com ênfase em entomologia) - **UNIVERSIDAD DE PANAMA**, Cidade do Panamá, 2014. Disponível em: <<http://up-rid.up.ac.pa/id/eprint/348>>. Acesso em: 26 ago. 2020.

GADM. **GADM**. 2021. Disponível em: <<https://gadm.org/index.html>>. Acesso em: 25 out. 2021.

GARCIA, F. R. M.; LARA, D. B. Análise faunística e flutuação populacional de moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em pomar cítrico no município de Dionísio Cerqueira, Santa Catarina. **Biotemas**, vol. 19, n. 3. P. 65-70, set. 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.5007/%25x>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

GARCIA, F. R. M.; CORSEUIL, E. Análise faunística de moscas-das-frutas (Diptera; Tephritidae) em pomares de pessegueiro em Porto Alegre, Rio Grande do Sul. **Revista brasileira de Zoologia**, v. 15, n. 4, p. 1111-1117, dez., 1998. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-81751998000400028>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

GBIF. **GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY**. 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.15468/dl.zd5tg6>>. Acesso em: 21 jul. 2020.

GRAHAM, C. H.; FERRIER, S.; HUETTMAN, F.; MORITZ, C.; PETERSON, A. T. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 19, n. 9, p. 497-503, set. 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2004.07.006>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

HESS, D.; TASA, D. G. Climate and Climate Change. In: HESS, D. **McKnight's Physical Geography: A Landscape Appreciation**. 12 ed. Estados Unidos da América: Pearson, 2017. p. 204-249.

HUTCHINSON, G. E. Concluding Remarks. **Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology**, v. 22, p. 415-427, 1957. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039>>. Acesso: 24 nov. 2020.

IB-APTA. **Mosca das Frutas no Estado de São Paulo**. 2021. Disponível em: <<http://www.mosfrut.com.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2020.

(IPPC) International Plant Protection Convention; Food and Agriculture Organization; Normas internacionais para medidas fitossanitárias N° 4, Tradução por Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil) Roma, 2017

(IPPC) International Plant Protection Convention; Food and Agriculture Organization; International Standards for Phytosanitary Measures N°6, Roma, 2018

JIANG, D.; CHEN, S.; HAO, M.; FU, J.; DING, F. Mapping the potential Codling Moth (*Cydia pomonella* L.) distribution based on a Machine Learning Method. **Scientific Reports**,

v. 8, n. 13093, ago., 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-31478-3>>. Acesso em: 23 nov. 2020.

KASS, J. M.; *et al.* ENMeval 2.0: Redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 12, n. 9, p. 1602–1608, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/2041-210X.13628>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

KEARNEY, M.; PORTER, W. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters*, v. 12, n. 4 p. 334-350, abr. 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

KUMAR, S.; GRAHAM, J.; WEST, A. M.; EVENGELISTA, P. H. Using district-level occurrences in MaxEnt for predicting the invasion potential of an exotic insect pest in India. *Computer and Electronics in Agriculture*, v. 103, p. 55-62, abr., 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.02.007>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

KUMAR, S.; NEVEN, L. G.; ZHU, H.; ZHANG, R. Assessing the Global Risk of Establishment of *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae) using CLIMEX and MaxEnt Niche Models. *Journal of Economic Entomology*, v. 108, n. 4, p. 1708-1719, ago., 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jee/tov166>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; LONSDALE, W. M.; EVANS, H.; CLOUT, M.; BAZZAZ, F. A. Biotic Invasions: Causes, Epidemiology, Global Consequences, and Control. *Ecological Applications*, v. 10, n. 3, p. 689-710, jun., 2000. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2641039>>. Acesso em 27 nov. 2020.

MARTINEZ, J. O.; SERNA, F. J. Identificación y localización geográfica de especies del género *Anastrepha* Schiner (Diptera: Tephritidae) en Cundinamarca (Colombia). *Agronomía Colombiana*, v. 23, n. 1, p. 102-111. Jan. 2005. Disponível em: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/19922>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

MÉNDEZ-VÁZQUEZ, L. J.; *et al.* Delineation of site-specific management zones for pest control purposes: Exploring precision agriculture and species distribution modeling approaches. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 167, n. 2, dez., 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105101>>. Acesso em: 27 set. 2021.

MEROW, C.; SMITH, M. J.; SILANDER JR, J. A. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. **Ecography**, v. 36, n. 10, p. 1058-1069, out., 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>>. Acesso em: 26 nov. 2020.

MESQUITA FILHO, W.; *et al.* Climatic and edaphic characteristics constrain the distribution of the quarantine pest *Anastrepha grandis*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 169, n. 7, p. 586–596, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1111/eea.13065> >. Acesso em: 2 nov. 2021.

MOURA, M. S. B. de; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. DE; SÁ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. p. 37-59.

NASCIMENTO, A. S. do; MORGANTE, J.S.; MALAVASI, A.; URAMOTO, K. Occurrence and Distribution of *Anastrepha* in Melon Production Areas in Brazil. In: ALUJA, Martin; LIEDO, Pablo (Eds.); **Fruit Flies: biology and management**. New York: Springer-Verlag, 1993, p. 39-42.

NORRBOM, A. *Anastrepha grandis* (South American cucurbit fruit fly) Datasheet. Fev. 2008. Disponível em: <<https://www.cabi.org/isc/datasheet/5649>> Acesso em: 25 nov. 2020.

O'DONNELL, M. S.; IGNIZIO, D. A. Bioclimatic Predictors for Supporting Ecological Applications in the Conterminous United States. **U.S Geological Survey Data Series 691**, p. 1–10, 2012.

PEARSON, R. G.; RAXWORTHY, C. J.; NAKAMURA, M.; PETERSON, A. T. Predicting

species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. **Journal of Biogeography**, [s. l.], v. 34, ed. 1, p. 102-117, 2007.

Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2699.2006.01594.x>>. Acesso em: 20 out. 2021.

PETERSON, A. T.; SHAW, J. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. **International Journal for Parasitology**, v. 33, n. 9, p. 919-931, ago., 2003.

Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0020-7519\(03\)00094-8](https://doi.org/10.1016/S0020-7519(03)00094-8)>. Acesso em: 27 nov. 2020.

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.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>>. Acesso em: 20 set. 2020.

PIROVANI, V. D.; MARTINS, D. S.; SOUZA, S. A. S.; URAMOTO, K.; FERREIRA, P. S. F. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae), seus parasitoides e hospedeiros em Viçosa, Zona da Mata Mineira. **Arquivos do Instituto Biológico**. v. 77, n. 4, p. 727-733. Dez., 2010.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1808-1657v77p7272010>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

POLECHOVÁ, J.; STORCH, D. Ecological Niche. **Encyclopedia of Ecology (Second Edition)**, v. 03, p. 72-80, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11113-3>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

PRESCOTT, J. A.; BARANOWSKI, R. M. Effects of Temperature on the Immature Stages of *Anastrepha suspensa* (Diptera: Tephritidae). **The Florida Entomologist**, v. 54, n. 4, p. 297-303, dez., 1971. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/3493589>>. Acesso em: 29 nov. 2020.

QGIS, Version 3.20. [S.I]: QGIS Development Team, 2021. Disponível em: <<https://qgis.org/>>. Acesso em: 25 set. 2021.

RABELO, L. R. S.; VELOSO, V. R. S.; RIOS, A. D. F.; QUEIROZ, C. S.; MESHIMA, F. H. S. Moscas-das-frutas (Diptera: Tephritidae) em municípios com sistema de mitigação de risco

para *Anastrepha grandis* Macquart. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 18, n. 2, p. 223-227, jun. 2013. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/aib/a/FbyVCKbTH48mXX7NB6LzKhR/?lang=pt>>. Acesso em: 25 ago., 2020.

RADOSAVLJEVIC, A.; ANDERSON, R. P. Making better Maxent models of species distributions: complexity, overfitting, and evaluation. **Journal of Biogeography**, [s. l.], v. 41, ed. 4, p. 629-643, abril, 2014. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jbi.12227>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

RStudio: Integrated Development for R. RStudio, version 2021.9.0. Boston: RStudio Team, 2021. Disponível em: <<https://www.rstudio.com/>>. Acesso em: 27 set. 2021.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SILVA, J. G.; MALAVASI, A.; The Status of Honeydew Melon as a Host of *Anastrepha grandis* (Diptera: Tephritidae). **The Florida Entomologist**, v. 76, n. 3, p. 516-519, set., 1993. Disponível em: <<https://doi.org/10.2307/3495652>>. Acesso em: 27 nov. 2020.

SILVA, J. G.; MALAVASI, A. Life cycle of *Anastrepha grandis*. In: MCPHERON, Bruce A.; STECK, Gary J. (Eds.); **Fruit Fly Pests – A world assessment of their biology and management**. Florida: CRC Press, 1996, p. 347-351.

SILVA, F. F; MIRELLES, R. N.; RADAELLI, L. R.; SOGLIO, F. K. D. Diversity of Flies (Diptera: Tephritidae and Lonchaeidae) in Organic Citrus Orchards in the Vale do Rio Caí, Rio Grande do Sul, Southern Brazil. **Neotropical Entomology**. v. 35, n. 5, p. 666-670. out., 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2006000500015>>. Acesso em: 25 ago. 2020.

SILVA, P. S.; SILVA, C. O.; MARTINS, R. S.; MULTANI, J. S. Primeiro registro de *Anastrepha fractura* e *Anastrepha mucronota* (Diptera: Tephritidae) no estado do Mato

Grosso. **Nativa**, v. 7, n. 5, p. 513-519, 2019. Disponível em:
<<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/7461>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

SILVA, M. A.; BEZERRA-SILVA, G. C. D.; VILANOVA, E. S.; CUNHA, M. G.; SANTOS, M. G. S. Establishment Probability of *Anastrepha grandis* and *Zeugodacus cucurbitae* (Diptera: Tephritidae) in Brazilian Semiarid Based on Thermal Requirement. **Neotropical Entomology**, v. 48, p. 853-862, jun., 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1007/s13744-019-00701-9>>. Acesso em: 27 nov. 2020.

TAHUA, J. L. B. **Diversidad y dinámica poblacional de *Ceratitis capitata* wiedemann y *Anastrepha* spp. (Diptera: Tephritidae) en La Molina, Lima, Perú**. 2014. 77f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Faculdade de Agronomía, Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, 2014. Disponível em:
<<https://hdl.handle.net/20.500.12996/2347>>. Acesso em: 25/08/2020.

TEIXEIRA, C. M.; KRÜGER, A. P.; NAVA, D. E.; GARCIA, F. R. M. Potential global distribution of the south American cucurbit fruit fly *Anastrepha grandis* (Diptera: Tephritidae). **Crop Protection**, v. 145, julho 2021. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219421001174?via%3Dihub>>. Acesso em: 20 out. 2021.

UCHOA-FERNADEZ, M. A.; OLIVEIRA, I.; MOLINA, R. M. S; ZUCCHI, R. A. Biodiversity of Frugivorous Flies (Diptera: Tephritoidea) Captured in Citrus Groves, Mato Grosso do Sul, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 32, n. 2, p. 239-246, abr., 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2003000200008>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

VELOSO, V. R. S.; PEREIRA, A. F.; RABELO, L. R.S.; CAIXETA, C. V. D.; FERREIRA, G.A. Moscas-das-frutas (Diptera, Tephritidae) no Estado de Goiás: ocorrência e distribuição. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 357-367, set., 2012. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1590/S1983-40632012000300015>>. Acesso em: 13 nov. 2021.

ZHAO, L.; HOU, P.; ZHU, G.; LI, M.; XIE, M.; LIU, Q. Mapping the disjunct distribution of introduced codling moth *Cydia pomonella* in China. **Agricultural and Forest Entomology**, v. 17, n.2, p. 214-222, mai., 2015. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/afe.12104>>.

ZHAO, Z.; GUO, Y.; WEI, H.; RAN, Q.; GU, W. Predictions of the Potential Geographical Distribution and Quality of a *Gynostemma pentaphyllum* based on the Fuzzy Matter Element Model in China. **Sustainability**, v. 09, n. 07, p. 1114-1128, jul., 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/su9071114>>. Acesso em: 03 ago. 2021.

ZIZKA, A.; *et al.* Coordinate Cleaner: Standardized cleaning of occurrence records from biological collection databases. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 10, n. 5, p. 744–751, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/2041-210X.13152>>. Acesso em: 13 nov. 2021.