



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

ALINE CAROLINA DE AMORIM SILVA

DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Neoseiulus barkeri* HUGHES (ACARI:
PHYTOSEIIDAE) COM BASE EM MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO
NO BRASIL

Recife - PE

2023

ALINE CAROLINA DE AMORIM SILVA

**DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Neoseiulus barkeri* HUGHES (ACARI:
PHYTOSEIIDAE) COM BASE EM MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO
NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo

Recife

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Aline Carolina de Amorim.

Distribuição potencial de *Neoseiulus barkeri* Hughes (Acari: Phytoseiidae) com base em modelagem de nicho ecológico no Brasil / Aline Carolina de Amorim Silva. - Recife, 2023.

35 : il., tab.

Orientador(a): José Wagner da Silva Melo

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências Ambientais - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, anexos.

1. ÁCAROS PREDADORES. 2. CONTROLE BIOLÓGICO. 3. PREDIÇÃO DE NICHO ECOLÓGICO. I. Melo, José Wagner da Silva. (Orientação). II. Título.

500 CDD (22.ed.)

ALINE CAROLINA DE AMORIM SILVA

DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DE *Neoseiulus barkeri* HUGHES (ACARI: PHYTOSEIIDAE) COM BASE EM MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: 24 / 04 / 2023

COMISSÃO EXAMINADORA

Orientador Dr. José Wagner da Silva Melo / UFPE

Avaliadora 1 Dra. Girleide Vieira De França-Beltrão / UFRPE

Avaliadora 2 Dra. Elisabete Albuquerque dos Santos / UFRPE

Recife – PE

2023

DEDICO

Aos meus pais, dona Miriam e

senhor Edinaldo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser meu principal patrocinador e com isso, ter me dado saúde e sabedoria para concluir essa etapa de minha vida.

Aos meus pais, Miriam Maria Amorim Silva e Edinaldo Luiz da Silva, que sempre souberam o poder transformador da educação e me impulsionaram para seguir nessa jornada.

Aos meus avós, Odair e Antônio, que me ensinaram a enxergar o futuro embora o presente fosse árduo.

A Prof. Dra. Debora Barbosa Lima, por ter sido minha professora na graduação e ter me aceitado como estagiária do Laboratório de Acarologia da UFPE, cujo qual é a professora responsável.

Ao Prof. Dr. José Wagner da Silva Melo, por ser meu orientador e ao longo desse processo, desenvolvermos uma ótima relação entre professor e aluna. Muito obrigada pela sua disponibilidade apesar de todos os imprevistos.

Aos meus colegas do Laboratório de Acarologia da Universidade Federal de Pernambuco, que fizeram desse ambiente um lugar acolhedor e alegre, bem como aos meus colegas de turma, que tornaram essa jornada universitária bem mais leve e satisfatória.

RESUMO

Programas de controle biológico que alcançam êxito possuem características importantes como a observação de condições climáticas que sejam favoráveis para o estabelecimento e desenvolvimento da espécie de inimigo natural, por exemplo. Esse aspecto, quando desconsiderado, comprometerá o programa adotado por resultar na incompatibilidade entre o agente de controle e a condição ambiental ao qual esse será exposto. Os ácaros que formam a família Phytoseiidae destacam-se mundialmente por serem um dos predadores mais utilizados em programas de controle biológico, especificamente a espécie *Neoseiulus barkeri* Hughes (Acari: Phytoseiidae). Sendo assim, o presente estudo objetivou realizar uma modelagem de distribuição do *N. barkeri* para o Brasil, a fim de promover escolhas mais assertivas quando utilizado nesses programas. Os dados geográficos relacionados a ocorrência desse ácaro, bem como as dezenove variáveis bioclimáticas foram coletadas a partir de banco de dados online especializados. Essas informações foram analisadas pelo software MaxEnt, que gerou um modelo das áreas com maior probabilidade de adequação para essa espécie. As variáveis bioclimáticas que oferecem maior probabilidade para a ocorrência do *N. barkeri* no Brasil são a bio2 e a bio19. Dessa maneira, a predição das regiões brasileiras que correspondem às áreas adequadas encontra-se na parte leste no Nordeste, Sudeste e Sul e em pequenas áreas da parte nordeste e sudoeste do Centro-oeste. Portanto, é possível inferir que mesmo em regiões brasileiras onde essa modelagem considera baixa probabilidade de ocorrência, alterações microclimáticas podem permitir a colonização do ambiente pelo ácaro predador como a condição climática oferecida pela arquitetura foliar da planta no agroecossistema e liberações periódicas do predador.

Palavras-chave: Ácaros predadores; controle biológico; predição de nicho ecológico

ABSTRACT

Biological control programs that are successful have important characteristics such as the observation of climatic conditions that are favorable for the establishment and development of the natural enemy species, for example. This aspect, when disregarded, will compromise the adopted program as it results in incompatibility between the control agent and the environmental condition to which it will be exposed. The mites that form the Phytoseiidae family stand out worldwide for being one of the most used predators in biological control programs, specifically the species *Neoseiulus barkeri* Hughes (Acari: Phytoseiidae). Therefore, the present study aimed to model the distribution of *N. barkeri* for Brazil, in order to promote more assertive choices when used in these programs. Geographic data related to the occurrence of this mite, as well as the nineteen bioclimatic variables were collected from a specialized online database. This information was analyzed using the MaxEnt software, which generated a model of the areas most likely to be suitable for this species. The bioclimatic variables that offer the greatest probability for the occurrence of *N. barkeri* in Brazil are bio2 and bio19. In this way, the prediction of the Brazilian regions that correspond to the suitable areas is found in the eastern part of the Northeast, Southeast and South and in small areas of the northeast and southwest part of the Midwest. Therefore, it is possible to infer that even in Brazilian regions where this modeling considers a low probability of occurrence, microclimatic changes may allow the colonization of the environment by the predatory mite as the climatic condition offered by the leaf architecture of the plant in the agroecosystem and periodic releases of the predator.

Keywords: Predatory mites; Biological control; ecological niche prediction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Quadro 1 – Variáveis bioclimáticas da base de dados WorldClim – Global Climate Data.....18
- Figura 1 – Curva ROC (Receiver Operator Characteristic) para modelagem de nicho ecológico para *Neoseiulus barkeri*. Linhas espessas representando modelos consensos e linhas delgadas representando modelos individuais).21
- Figura 2 – Contribuições individuais das variáveis bioclimáticas para o modelo consenso final de *Neoseiulus barkeri* obtidos através do algoritmo MaxEnt.....21
- Figura 3 – Curva de resposta dos preditores selecionados para a modelagem de *Neoseiulus barkeri* no Brasil. Bio10 - Temperatura (°C) média do trimestre mais quente; Bio13 - Precipitação (mm) do mês mais chuvoso; Bio14 - Precipitação (mm) do Mês Mais Seco; Bio15 - Sazonalidade da Precipitação; Bio18 - Precipitação (mm) do trimestre mais quente; Bio19 - Precipitação (mm) do trimestre mais frio; Bio2 - Variação média diurna °C; Bio3 - Isotérmica; Bio9 - Temperatura (°C) média do trimestre mais seco.....23
- Figura 4 – Predição de áreas no Brasil potencialmente adequadas para *Neoseiulus barkeri* (esquerda - predição média; direita – desvio padrão). A adequação dessas áreas pode ser classificada em: (0,0-0,2) improvável, (0,2-0,4) baixa probabilidade, (0,4-0,6) probabilidade regular (acaso), (0,6-0,8) probabilidade moderada, (0,8-1,0) elevada probabilidade.....24
- Figura 5 - Histograma da distribuição das probabilidades de ocorrência de *Neoseiulus barkeri* para o território brasileiro. Barras claras correspondem a frequências de baixa probabilidade (<50%) enquanto que barras escuras correspondem a frequências elevadas (>50%)2
- Anexo 1 Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
- Anexo 2 Precipitation of Coldest Quarter

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Controle biológico	13
2.2 Família Phytoseiidae	14
2.3 Modelagem de nicho ecológico	16
3 METODOLOGIA.....	17
3.1 Locais de ocorrência de <i>Neoseiulus barkeri</i>	17
3.2 Variáveis bioclimáticas.....	17
3.3 Modelagem	18
4 RESULTADOS	19
5 DISCUSSÃO	24
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	27
ANEXOS	35

1 INTRODUÇÃO

A manipulação e implementação de agentes de controle biológico, os chamados inimigos naturais, para atenuar os efeitos danosos causados por alguns organismos na produção agrícola é algo datado desde o século III a.C. No entanto, o controle químico suprimiu seu avanço a partir da popularização do DDT (Diclorodifeniltricloroetano), no final dos anos 1930 (PARRA, 2014). Mesmo que o uso dos defensivos agrícolas possibilite aos produtores uma forma de mitigar danos econômicos na produção de culturas, sua ascensão aliada a uma utilização indiscriminada são portadores de ameaças que afetam desde os trabalhadores que empregam essa prática até o ecossistema (ISMAEL *et al.*, 2015).

O controle químico permanece na liderança, porém um modo de contornar essa realidade tem sido a utilização da associação de inimigos naturais dentro do manejo integrado de pragas (MIP) (BARBOSA *et al.*, 2017), onde os predadores que estão em destaque são os ácaros que constituem a família Phytoseiidae (PARRA, 2002) e são amplamente comercializados (MCMURTRY *et al.*, 2015) uma vez que são portadores de singularidades como agilidade e aumento no crescimento populacional em um curto espaço de tempo quando em ótimas condições de temperatura, umidade e disponibilidade de alimento (SABELIS e DICKE, 1985). O manejo integrado de pragas não veio para retirar os químicos de circulação, mas para que essa prática seja realizada de modo controlado e seletivo (BARBOSA *et al.*, 2017).

Neoseiulus barkeri Hughes é um ácaro predador da família Phytoseiidae que merece determinada atenção, pois essa espécie apresenta relatos de ocorrência em vários países (DEMITE *et al.*, 2019), mantém um ótimo desenvolvimento mesmo em locais úmidos ou áridos (NEGM *et al.*, 2014), é classificado como um ácaro generalista do tipo III em relação ao seu hábito alimentar, podendo ser predador de tripses (MOUDEN *et al.*, 2017), mosca branca na fase de ovo e até mesmo pólen (NOMIKOU *et al.*, 2001). O *N. barkeri* está registrado e é comercializado como um agente de controle biológico pela TOPBIO no Brasil, sendo indicado para o controle de tripses, ácaro branco

Polyphagotarsonemus latus (Banks) (Acari: Tarsonemidae) e o ácaro-vermelho-das-palmeiras *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae) em diferentes produções agrícolas (TOPBIO, 2023).

Dentro de um programa de controle biológico é necessário verificar as condições ambientais na qual o agente de controle irá ser submetido (PARRA, 2002), o que significa que uma das causas de insucesso pode ser atribuída a falta de compatibilidade entre as condições climáticas e agente escolhido (STILING, 1993), colocando em risco o programa adotado pelo produtor e acarretando prejuízo econômico para reverter a situação (BARBOSA *et al.*, 2017).

Realizar predições de possíveis locais adequados para determinada espécie pode ser feito através de modelagem, que executa essa predição baseado em áreas de ocorrência da espécie com as condições climáticas dos respectivos pontos, gerando espaços geográficos com potencial para o estabelecimento do agente de controle biológico (PHILLIPS *et al.*, 2006). Além dessa abordagem, a técnica de modelagem tem sido utilizada para predizer distribuição de espécies (ABDELAAL *et al.*, 2019; AMARAL *et al.*, 2021; BELLO *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2021 FIGUEIREDO *et al.*, 2015) e possíveis locais de espécies em ameaça de extinção suscetíveis a ações conservacionistas (ALEXANDRE *et al.*, 2013; DE FARIA OSHIMA *et al.*, 2021), por exemplo. Deste modo, o presente estudo objetiva prever regiões do Brasil com maior potencial para o uso de *Neoseiulus barkeri* como agente de controle biológico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Controle biológico

O controle biológico é um método que promove o equilíbrio de uma determinada população que está gerando dano econômico (GRAVENA, 1992). Tal técnica utiliza-se de espécies, caracterizadas como inimigos naturais, para manter a população alvo em níveis abaixo dos prejuízos econômicos e ambientais (GRAVENA, 1992; PARRA, 2002). Os patógenos, os predadores e os parasitoides são os organismos que fazem parte desse grupo (DE ABREU *et al.*, 2015).

A utilização do controle biológico nos sistemas agrícolas está intimamente ligada a ações sustentáveis, pois há uma redução ou uso controlado de defensivos agrícolas (BARBOSA *et al.*, 2017) e, por ser adotado no Manejo Integrado de controle de Pragas, traz ao produtor rural um reconhecimento positivo em questões ecológicas (LANDERS e OLIVEIRA, 2018). No Brasil, há um interesse industrial crescente na produção de inimigos naturais (LANDERS e OLIVEIRA, 2018).

O emprego de agente de controle biológico não é algo recente (LANDERS e OLIVEIRA, 2018). Os predadores, exemplo de inimigo natural, normalmente são maiores que suas presas (PICANÇO, 2010), de vida livre, matam e se alimentam de suas presas durante seu ciclo de vida (PARRA, 2002). Os ácaros predadores estão presentes nesse grupo (PARRA, 2002) e em virtude da ocorrência desses artrópodes no Brasil, são muito estudados e utilizados como agentes de controle biológico (JUNIOR *et al.*, 2018) destacando-se os que pertencem a família Phytoseiidae (GERSON *et al.*, 2008).

Os resultados promissores da utilização de predadores como agentes de controle biológico podem ser observados nos casos de sucesso descritos na literatura. Nos Estados Unidos, para controlar cochonilhas *Icerya purchasi* Maskell (Hemiptera: Monophlebidae) em cultivos de citros, foi empregado a joaninha *Rodolia cardinalis* (Mulsant) (Coleoptera: Coccinellidae) (COCK *et al.*, 2010). No Canadá, a espécie de ácaro fitoseídeo *Amblyseius swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae) é utilizada para controlar *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) em cultivos de crisântemo (*Dendranthema*

grandiflora Tzvelev) (BUITENHUIS *et al.*, 2010). No Brasil, a utilização de *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) tem como objetivo controlar o ácaro *Panonychus ulmi* (Koch) (Acari: Tetranychidae) na cultura de macieira (BUENO *et al.*, 2015).

2.2 Família Phytoseiidae

Os ácaros que constituem a família Phytoseiidae são os principais utilizados em programas de controle biológico (MCMURTRY e CROFT, 1997), sendo os gêneros *Neoseiulus* e *Phytoseiulus* os principais quando se trata de comercialização (MORAES *et al.*, 2004). Características envolvendo um desenvolvimento rápido, ótima habilidade em forrageio e alta capacidade de sobreviver em substratos variados contribuem para essa finalidade (PARRA, 2002).

Os estágios que constituem o ciclo biológico dos fitoseídeos são: ovo, no qual o embrião está na fase inicial do desenvolvimento; larva, que é marcada pela presença de três pares de pernas, ou seja, o ácaro nessa fase é hexápoda; protoninfa, onde o ácaro, de vida livre, alimenta-se, mas isso é algo facultativo; deutoninfa e adulto, onde ambos os estágios se diferenciam pelo tamanho do ácaro e esclerotização (MORAES e FLECHTMANN, 2008). Normalmente o período de desenvolvimento é curto quando há condições ambientais e disponibilidade de alimento favoráveis, podendo ocorrer em até uma semana (MCMURTRY e CROFT, 1997). Os adultos podem viver entre 20 e 30 dias, com as fêmeas ovipositando um ou dois ovos por dia, totalizando entre 30 e 40 ovos aproximadamente durante esse período (MORAES e FLECHTMANN, 2008).

O hábito alimentar da família Phytoseiidae classifica seus representantes em quatro tipos, sendo eles predadores especializados, seletivos, generalistas e consumidores. Dentro da classificação do tipo I – ácaros predadores especialistas, observa-se três subtipos de especificidade: Ia – em espécies do gênero *Tetranychus* (Tetranychidae), Ib – em ácaros produtores de teias (Tetranychidae) e Ic – em tydeoides (Tydeoidea). Para tipo II – ácaros predadores seletivos de ácaros tetraniquídeos, o subtipo II corresponde a especificidade em ácaros tetraniquídeos. O tipo III – ácaros predadores generalistas, possui sua especificidade em relação as presas distribuídas nos

subtipos IIIa – que habitam folhas pilosas, IIIb – que habitam folhas glabras, IIIc- que habitam espaços confinados em dicotiledôneas, IIId- que habitam espaços confinados em monocotiledôneas e IIIe- que habitam o solo. O tipo IV, são ácaros generalistas com preferência por pólen (MCMURTRY et al., 2013).

Os ácaros da família Phytoseiidae realizam o processo de dispersão com auxílio dos ventos, geralmente ocasionado pela falta de disponibilidade de recursos alimentares e em função disso, eles se locomovem para parte adaxial das folhas em que estão presentes e esperam a ação dos ventos para o transporte (MORAES e FLECHTMANN, 2008). Estando em uma nova superfície foliar, se direcionam através de estímulos químicos oriundos das presas ou plantas que estão sendo predadas por outros fitófagos (SABELIS e DICKE, 1985).

No tocante ao aspecto de diversidade, o gênero *Neoseiulus* é um dos mais diversos dentre os que constituem a família dos fitoseídeos (DEMITE et al., 2019), sendo *Neoseiulus barkeri* Hughes uma das espécies de predador direcionado para o uso de programas de controle biológico (RODRÍGUEZ-CRUZ et al., 2017). É uma espécie de ácaro predador que já foi relatado em quase todos os países podendo sobreviver em situações climáticas adversas (MORAES et al., 2004; JAFARI et al., 2012). Por ser um ácaro generalista, o *Neoseiulus barkeri* é utilizado como agente de controle biológico do ácaro branco (*Polyphagotarsonemus latus*) (FAN e PETITT, 1994a), podendo concluir seu ciclo de vida com sucesso alimentando de pólen mediante a baixa densidade de presas (FAN e PETITT, 1994b). Filgueiras (2020) relatou que *N. barkeri* se mostrou um ótimo agente de controle biológico de *Raoiella indica*, predando todas as fases do ciclo de vida, porém preferindo o estágio de ovo em relação aos demais e resultando em um desempenho considerado superior quando comparado com o *Amblyseius largoensis* Muma (Acari: Phytoseiidae), ácaro predador destinado ao controle do ácaro-vermelho-das-palmeiras (*Raoiella indica*).

O sucesso dos ácaros fitoseídeos como agentes de controle biológico pode ser exemplificado no controle de densidade populacional do ácaro rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) fazendo uso algumas espécies como *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) (GERSON et

al., 2008), *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Acari: Phytoseiidae) no cultivo de rosas (BARBOSA *et al.*, 2017), *Neoseiulus barkeri* no cultivo de pepino (KARG *et al.*, 1987) e no controle de *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleurodidae) com *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) (NOMIKOU *et al.*, 2003).

2.3 Modelagem de nicho ecológico

O nicho ecológico é considerado como sendo uma relação intrínseca que uma espécie apresenta no tocante ao espaço geográfico e as condições necessárias para sua sobrevivência, bem como a capacidade de reproduzir, gerando populações que sejam viáveis (CHOUDHURY *et al.*, 2016) e esse conceito pode ser útil no esclarecimento de questões como origem e distribuição das espécies (SILVERTOWN, 2004). Destarte, um modelo de nicho ecológico tem por finalidade fazer uma predição de áreas com condições ambientais adequadas para que se tenha a ocorrência de uma espécie (GUISAN e ZEMMERMAN, 2000).

A modelagem é um processo de algoritmos que, baseado em dados de local de ocorrência de uma espécie, gera mapas com uma distribuição potencial que faz a predição de presença e/ou ausência (PHILLIPS *et al.*, 2006). Na construção de uma modelagem de nicho ecológico aplica-se algoritmos que procuram por áreas com uma semelhança muito próxima de onde foi relatada a ocorrência da espécie, ou seja, essa predição está ligada a relações não aleatórias dos dados oferecidos como a ocorrência da espécie e dos dados relacionados a condições ambientais referentes a sobrevivência da mesma (ANDERSON *et al.*, 2003). Deste modo, os algoritmos refletem a seguinte hipótese: encontrando uma espécie em determinado lugar com determinadas condições, muito provavelmente ela conseguirá sobreviver em locais nos quais as condições oferecidas são semelhantes (SOBERON E PETERSON, 2005).

Os mapas gerados na modelagem não estão ligados a uma real distribuição da espécie, ou seja, eles representam uma potencial predição de áreas que possuem condições adequadas para o estabelecimento de uma espécie (PETERSON *et al.*, 2011), já que se faz uso de locais onde ocorre a espécie baseados nos registros da literatura e dados ambientais,

desconsiderando as influências de interação entre as espécies (competição e barreiras geográficas, por exemplo) (AUSTIN, 2002; PHILLIPS *et al.*, 2006).

3 METODOLOGIA

3.1 Locais de ocorrência de *Neoseiulus barkeri*

Os registros de ocorrências de *N. barkeri* foram obtidos através do banco de dados Phytoseiidae Database (<http://www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae/> (DEMITE *et al.*, 2023)). Toda a literatura que mencionava a ocorrência para a espécie predadora em estudo foi consultada anotando as coordenadas geográficas ou detalhes que possibilitassem seu georeferenciamento. Em seguida, o software Google Earth foi utilizado não só para obtenção das coordenadas geográficas dos registros que não as mencionava, mas também para conferir as coordenadas informadas nos manuscritos. Ao fim do processo, um total de 42 localizações foram utilizadas para modelagem (registro de ocorrência).

3.2 Variáveis bioclimáticas

Variáveis bioclimáticas têm sido consideradas sensíveis para demarcar tolerâncias fisiocológicas dos habitats (HIJMANS *et al.*, 2005; THOMPSON *et al.*, 2009). As variáveis bioclimáticas utilizadas para a modelagem foram obtidas da base de dados WorldClim – Global Climate Data (<https://www.worldclim.org/>), e estão apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 1 – Variáveis bioclimáticas da base de dados WorldClim – Global Climate Data.

Código	Variável Bioclimática
BIO1	Temperatura média anual °C
BIO2	Varição média diurna °C [Temp. média mês (max-min)]
BIO3	Isotérmica (BIO2/BIO7) (x100)
BIO4	Sazonalidade da temperatura °C (desvio padrão x 100)
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente °C
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio °C
BIO7	Varição de temperatura anual (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura média do trimestre mais chuvoso °C
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco °C

BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente °C
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio °C
BIO12	Precipitação anual mm
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso mm
BIO14	Precipitação do mês mais seco mm
BIO15	Sazonalidade da precipitação mm (Coeficiente de variação)
BIO16	Precipitação do trimestre mais chuvoso mm
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco mm
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente mm
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio mm

Fonte: <https://www.worldclim.org/>

Antes do início da modelagem foi realizado uma análise de Fator de Inflação de Variância (Variance Inflation Factor - VIF) eliminando-se variáveis com $VIF > 2$. Esse procedimento foi utilizado para reduzir a multicolinearidade entre as variáveis.

3.3 Modelagem

O algoritmo Maxent foi escolhido para estimar a distribuição geográfica potencial de *N. barkeri*. O Maxent baseia-se no princípio de máxima entropia, que diz que a melhor aproximação para uma distribuição de probabilidades desconhecida é aquela que satisfaça qualquer restrição à distribuição. Dessa forma, o algoritmo estima a probabilidade da máxima entropia (que é a distribuição mais próxima da distribuição uniforme), submetidas a um conjunto de restrições que representam a informação incompleta sobre a distribuição alvo (PHILLIPS *et al.*, 2006). Este é também o algoritmo mais utilizado quando se têm apenas pontos de ocorrência da espécie alvo, não tendo registros de verdadeira ausência da espécie alvo.

Uma vez que modelos baseados apenas em pontos de ocorrência podem ser susceptíveis a um viés amostral, faz-se necessário o uso de pontos de *background* como pseudo-ausência (PEARCE E BOYCE, 2006). Assim, 10.000 pontos aleatórios foram gerados aleatoriamente e utilizados como *background* (PHILLIPS *et al.*, 2017). Os dados obtidos foram particionados em 70% para treino e 30% para teste, sendo que essa partição repetida 10 vezes de modo aleatório (bootstrap). Dessa forma, 10 modelos foram obtidos. Os modelos foram avaliados com base nos valores de AUC (Area Under the Curve) e TSS. O gráfico

ROC (*Receiver Operator Characteristic*) foi utilizado para indicar a relevância do modelo por possuir atributos de sensibilidade e especificidade 1, que indicam uma correta predição dos dados em relação a presença e a proporção das ausências corretamente previsíveis, respectivamente (BALDWIN, 2009). Este gráfico gera uma curva que demonstra sua significância quantificando a área sob a curva (AUC), com valores que geralmente variam de 0,5 (indicam um baixo desempenho) a 1,0 (expressam um desempenho elevado). A existência de valores abaixo de 0,5 apontam um péssimo modelo em relação ao aleatório (PETERSON *et al.*, 2011; RAMOS *et al.*, 2018). O modelo consenso final foi obtido combinando apenas os modelos que possuíssem os valores de TSS maiores que a média de todos os modelos ajustados. Adicionalmente foi produzido também um modelo de incerteza (desvio padrão), calculando a média dos valores de adequabilidade ponderado pelos valores de TSS (ensemble by mean-weighted).

Todas as análises foram realizadas através da linguagem R v. 4.2.0 (R CORE TEAM, 2022), utilizando os pacotes *sdm* (NAIMI e ARAUJO 2016), *dplyr* (WICKHAM *et al.*, 2022), *tidyr* (WICKHAM e GIRLICH 2022), *rJava* (Urbanek 2021), *mapview* (Appelhans *et al.*, 2022), *tmap* (Tennekes, 2018) e *usdm* (NAIMI *et al.*, 2014).

4 RESULTADOS

O modelo consenso final obtido através do MaxEnt foi composto por 4 repetições e apresentou elevado valor de AUC 0,94 (essa é a probabilidade que o algoritmo tem em prevê dois pontos de presença (sensibilidade) ou ausência verdadeira (especificidade)) (Figura 1).

O modelo consenso final foi construído levando em consideração apenas 9 das 19 variáveis bioclimáticas (a exclusão das variáveis foi efetuada através do teste do fator de inflação de variância – VIF, evitando multicolinearidade). As contribuições das variáveis para explicação da probabilidade de ocorrência variaram de $0,34 \pm 0,035$ a $0,03 \pm 0,015$ (Figura 2). Sendo as maiores contribuições observadas para as variáveis bio2 (Variação média diurna da temperatura [Temp. média mês (max-min)]) e bio19 (Precipitação em mm do trimestre mais frio).

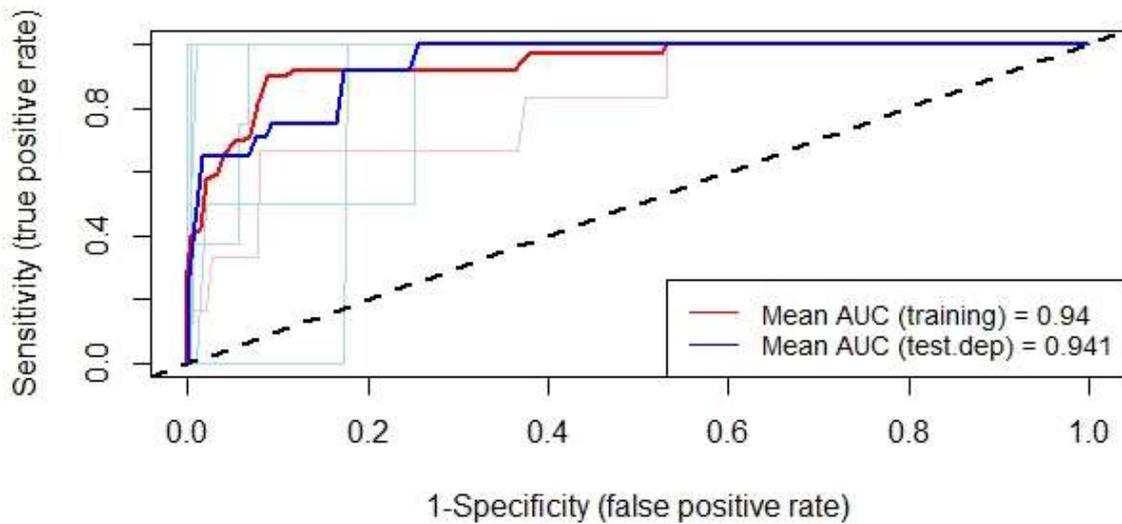


Figura 1. Curva ROC (*Receiver Operator Characteristic*) para modelagem de nicho ecológico para *Neoseiulus barkeri*. Linhas espessas representando modelos consensos e linhas delgadas representando modelos individuais).

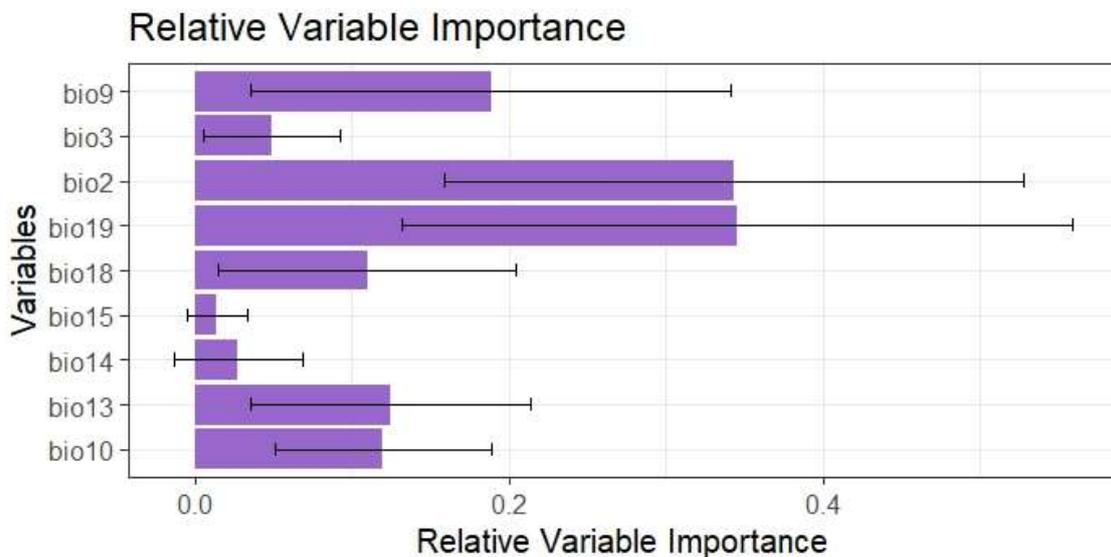


Figura 2. Contribuições individuais das variáveis bioclimáticas para o modelo consenso final de *Neoseiulus barkeri* obtidos através do algoritmo MaxEnt.

Uma relação linear inversa (negativa) foi observada entre a probabilidade de ocorrência no modelo e a variável bio2. Já para a variável bio19 foi observado que uma baixa precipitação no trimestre mais frio (inferior a 25 mm) contribui

positivamente para a probabilidade de ocorrência no modelo, enquanto precipitação elevada (acima de 25 mm) reduzem a probabilidade (Figura 3).

As áreas preditas como adequadas (probabilidade moderada e elevada) para ocorrência natural de *N. barkeri* concentram-se na porção leste das regiões Nordeste, Sudeste e Sul e nas porções nordeste e sudoeste da região Centro-oeste do Brasil (Figura 4). A maior parte do território brasileiro não apresenta nichos adequados para ocorrência natural de *N. barkeri* (Figura 5).

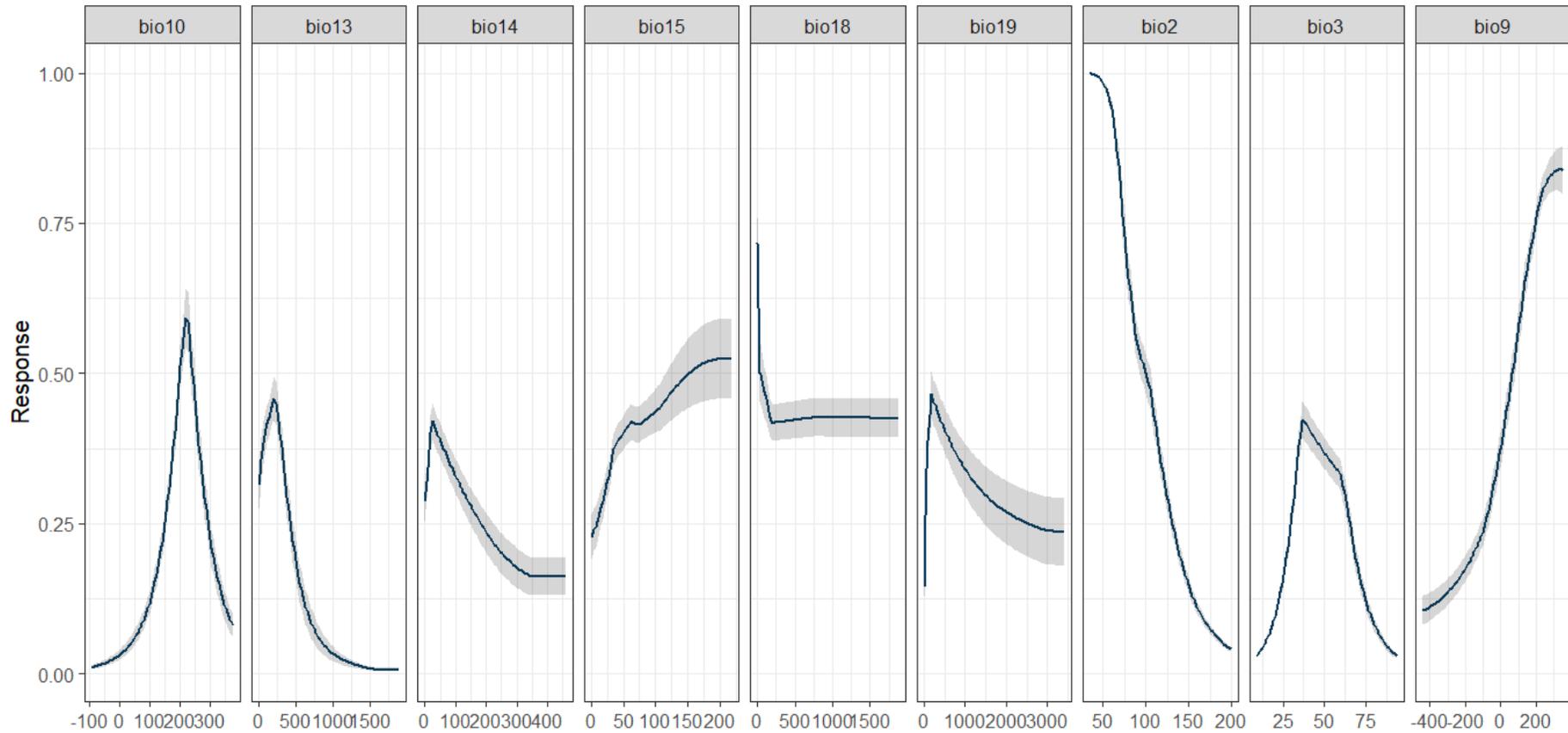


Figura 3. Curva de resposta dos preditores selecionados para a modelagem de *Neoseiulus barkeri* no Brasil. Bio10 - Temperatura (°C) média do trimestre mais quente; Bio13 - Precipitação (mm) do mês mais chuvoso; Bio14 - Precipitação (mm) do Mês Mais Seco; Bio15 - Sazonalidade da Precipitação; Bio18 - Precipitação (mm) do trimestre mais quente; Bio19 - Precipitação (mm) do trimestre mais frio; Bio2 - Variação média diurna °C; Bio3 - Isotérmica; Bio9 - Temperatura (°C) média do trimestre mais seco.

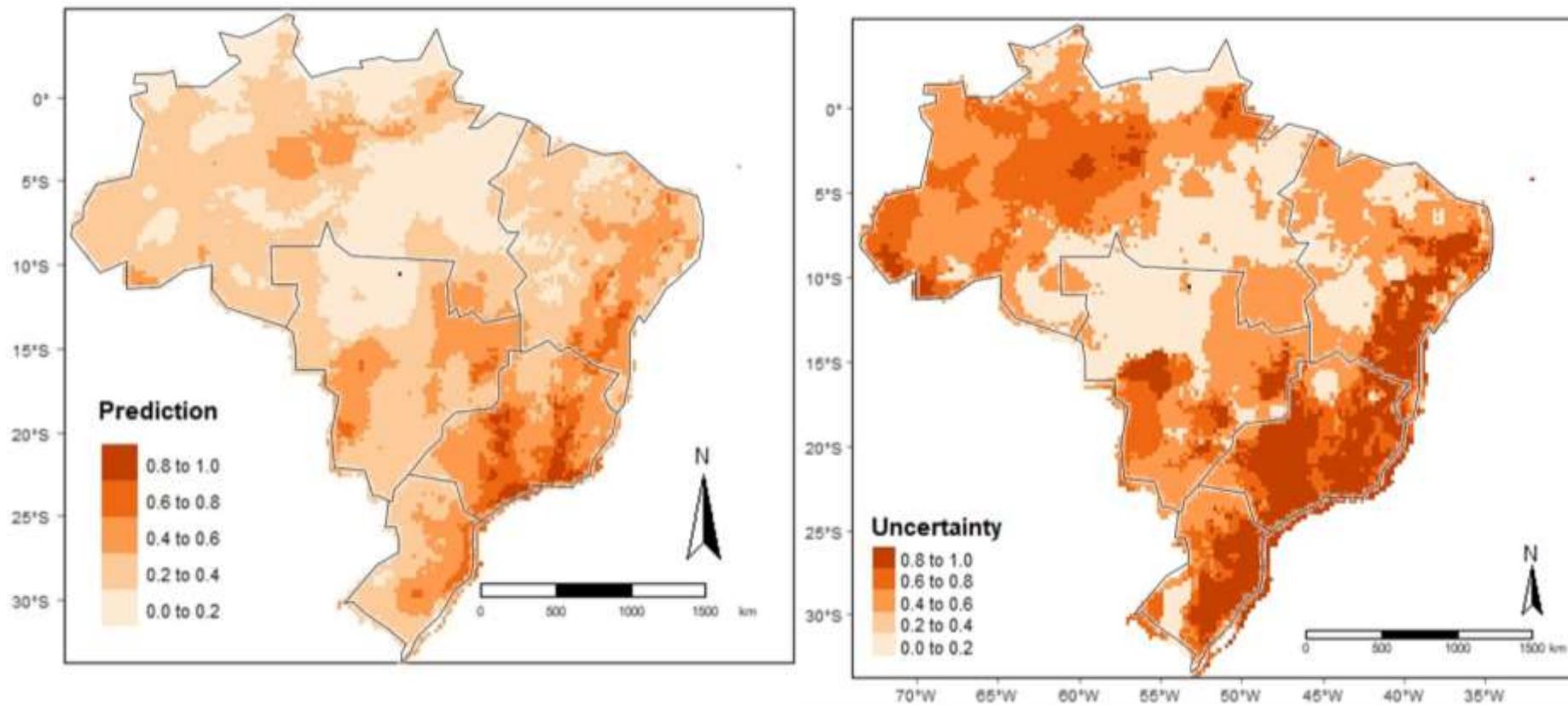


Figura 4. Predição de áreas no Brasil potencialmente adequadas para *Neoseiulus barkeri* (esquerda - predição média; direita – desvio padrão). A adequação dessas áreas pode ser classificada em: (0,0-0,2) improvável, (0,2-0,4) baixa probabilidade, (0,4-0,6) probabilidade regular (acaso), (0,6-0,8) probabilidade moderada, (0,8-1,0) elevada probabilidade.

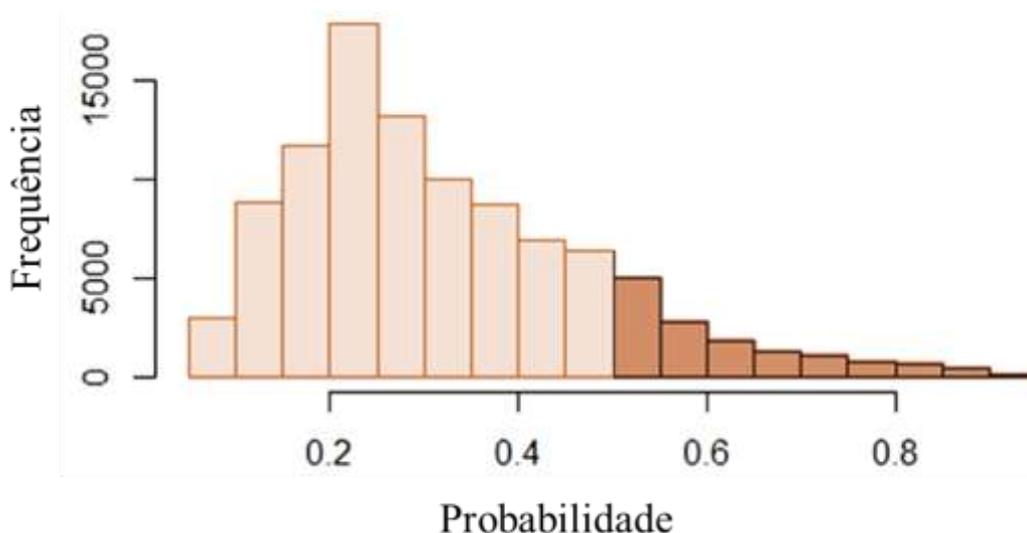


Figura 5. Histograma da distribuição das probabilidades de ocorrência de *Neoseiulus barkeri* para o território brasileiro. Barras claras correspondem a frequências de baixa probabilidade (<50%) enquanto barras escuras correspondem a frequências elevadas (>50%).

5 DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo revelam que as condições climáticas do Brasil que favorecem o sucesso do uso do agente de controle biológico *N. barkeri* incluem aquelas que correspondem com a ocorrência natural da espécie (AZEVEDO *et al.*, 2020; BARBOSA *et al.*, 2021; CRUZ *et al.*, 2019; MINEIRO *et al.*, 2006; MORAES *et al.*, 1993), o que é esperado em um bom modelo preditivo. A região Sudeste se destaca por apresentar uma elevada probabilidade de ocorrência de *N. barkeri* dentro de uma maior extensão geográfica quando comparada com as demais regiões brasileiras (Figura 4).

Na costa Leste das regiões Nordeste, Sudeste e Sul predomina o clima Tropical atlântico, onde a massa tropical atlântica é responsável por exercer influência resultando em clima úmido e com frequentes chuvas ao longo do ano (CPTEC/INPE 2023). É provável que a regularidade e o elevado volume de precipitação (bio19) da região Norte do Brasil bem como a baixa variação da precipitação média diária (bio2) esteja limitando a ocorrência natural do predador (ver anexos I e II). Não se deve desconsiderar o fato que há poucos relatos de *N. barkeri* no Brasil, assim o modelo apresentado aqui pode estar subestimado em função do baixo número de registros. É

possível que um novo modelo de previsão que inclua pontos (ocorrência ou ausência verdadeira) nas regiões Nortes e Centro-Oeste do Brasil modifique o mapa de probabilidades.

A influência da temperatura no desenvolvimento do fitoseídeo *N. barkeri* é amplamente estudada. Jafari et al. (2012) demonstraram que, em condições de laboratório, o desenvolvimento desse ácaro predador alimentado com *Tetranychus urticae* pode ocorrer em uma faixa de temperatura que varia de 15 a 37°C, o que corresponde a um desenvolvimento total (estágio de ovo a adulto), para última temperatura, de 4,67 e 4,15 dias para fêmeas e machos, respectivamente. Xia et al. (2012) observaram que, alimentando-se de *Aleuroglyphus ovatus* (Troupeau) (Acari: Acaridae), condições de temperatura inferior a 16°C e superior a 32°C não são apropriadas para *N. barkeri*. É possível que a dieta ofertada na criação do ácaro predador altere suas exigências ambientais.

Na modelagem realizada por este estudo, a variável bio19 indicou que áreas onde a precipitação do trimestre mais frio apresenta valores inferiores a 25mm podem contribuir para a ocorrência e utilização do *N. barkeri* em programas de controle biológico (Figura 3). Os altos índices de precipitação em relação ao valor citado como adequado inviabilizam a probabilidade de ocorrência e conseqüentemente a escolha por esse agente de controle biológico.

Ainda não há descrição específica na literatura em relação a inviabilidade no uso do *N. barkeri* em regiões com altos índices de precipitação. No entanto, pode-se inferir que, por ser uma espécie que possui dados de ocorrência em várias regiões do mundo (MORAES *et al.*, 2004), sua adaptação e manejo controlados podem mitigar essa situação nas regiões onde a modelagem apresentou baixa probabilidade. Outro aspecto a ser considerado é que dentro de um agroecossistema existem alguns fatores que podem minimizar a exposição do ácaro as condições macroclimáticas (condições que são modeladas), como por exemplo a arquitetura da planta formando um microclima diferente do macroclima. Ou seja, mesmo que um ambiente tenha sido considerado desfavorável ainda é possível o uso do *N. barkeri* na área, desde que o ambiente seja trabalhado adequando o microclima as exigências do predador. Ainda assim, com essa abordagem de alteração ambiental é possível que o predador encontre dificuldade para se estabelecer em determinadas épocas, como por exemplo

no período de escassez de presas onde ele teria que se dispersar entrando fatalmente em contato com um macroclima desfavorável. Dessa forma, esses sistemas seriam dependentes de liberações periódicas do predador.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As predições realizadas para *Neoseiulus barkeri* no Brasil indicam que as regiões da parte Leste do Nordeste, Sudeste, Sul e uma porção central do Centro-Oeste são adequadas para o estabelecimento do ácaro predador em programas de controle biológico. Em áreas que não oferecem condições climáticas favoráveis, faz-se necessário alterações ambientais que estabeleçam um microclima favorável possibilitando a colonização do ambiente pelo ácaro predador.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelaal, M. *et al.* Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crép. in Egypt. **Ecological informatics**, v. 50, p. 68-75, 2019.

Alexandre, B. R., Lorini, M. L., Grelle, C. E. V. Modelagem preditiva de distribuição de espécies ameaçadas de extinção: um panorama das pesquisas. **Oecologia Australis**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p. 483-508, 2013.

Anderson, R. P.; LEW, D.; Peterson, A. T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. **Ecological modelling**, v. 162, n. 3, p. 211-232, 2003.

Amaral, L. A., Ferreira, R. A., Mann, R. S. O uso de modelagem de distribuição de espécies para restauração florestal: Uma revisão sistemática. **Research, Society and Development**. v .10, p. e46610817158-e46610817158, 2021.

Appelhans, T., Detsch, F., Reudenbach, C., Woellauer, S. Mapview: Interactive Viewing of Spatial Data in R. R package version 2.11.0. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=mapview>>. Acessado em: 16/04/2023.

Austin, M. P. Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. **Ecological Modelling**, Canberra, v. 157, p. 101-118, 2002.

Azevedo, E.B., *et al.* Diversity of soil gamasine mites (Acari: Mesostigmata: Gamasina) in an area of natural vegetation and cultivated areas of the Cerrado biome in Northern Brazil. **Diversity**, v. 12, n. 9, p. 331, 2020

Baldwin, R. A. Use of maximum entropy modelling in wildlife research. **Entropy**, v. 11, n. 4, p. 854–866, 2009.

Barbosa, M. F., Demite, P. R., Lofego, A. C., de Vasconcelos, G. J., & de Moraes, G. J. Further records of phytoseiid (Acari: Mesostigmata: Phytoseiidae) species for Brazil. **Entomological Communications**, v. 3, p. ec03048-ec03048, 2021.

Barbosa, M.F.C., Demite, P.R., Moraes, G.J., Poletti, M. Controle Biológico com Ácaros Predadores e Seu Papel no Manejo Integrado de Pragas. Engenheiro Coelho/SP. **PROMIP**, 2017.

Bello, C., Cintra, A. L. P., Barreto, E. et al. Environmental niche and functional role similarity between invasive and native palms in the Atlantic Forest. **Biol Invasions** v. 23, n. 3, p. 741–754, 2021.

Bueno, A. H. P., Junior, J., Junior, A. M., Silveira, L. D. Controle biológico e manejo de pragas na agricultura sustentável. Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Lavras. Retirado de:<http://www.den.ufla.br/attachments/article/75/ApostilaCB>, v. 20, 2015.

Buitenhuis, R., Shipp, L., Scott-Dupree, C. Dispersal of *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) on potted greenhouse chrysanthemum. **Biological Control**, v. 52, n. 2, p. 110-114, 2010.

Choudhury, M. R., Deb, P., Singha, H., Chakdar, B., Medhi, M. Predicting the probable distribution and threat of invasive *Mimosa diplotricha* Suavalle and *Mikania micrantha* Kunth in a protected tropical grassland. **Ecological Engineering**, v. 97, p. 23–31, 2016

Cock, M. J. W., Lenteren, J. C. van, Brodeur, J., Barratt, B. I. P., Bigler, F., Bolckmans, K., Côtoli, F. L., Haas, F., Mason, P. G., Parra, J. R. P. Do new access and benefit sharing procedures under the convention on biological diversity threaten the future of biological control? **BioControl**, v. 55, n. 2, p. 199-218, 2010.

CPTEC. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Clima Estações. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/pt>. Acesso em: 08/04/2023, às 15:54.

Cruz, A. B. S., Almeida, T. S., Fabricante, J. R. Modelagem de nicho ecológico de musgos bioindicadores. **Acta Brasiliensis**, v. 5, n. 2, p. 83-87, 2021.

Cruz, W. P., Krug, C., De Vasconcelos, G. J. N., & De Moraes, G. J. Mite (Arachnida: Acari) diversity and abundance on oil palms in the central region of the

Brazilian Amazonia. **Systematic and Applied Acarology**, v. 24, n. 9, p. 1736-1750, 2019.

De Abreu, J. A. S.; Rovida, A. F. S.; Conte, H. Controle biológico por insetos parasitoides em culturas agrícolas no Brasil: Revisão de literatura. **Uningá Review**, v. 22, n. 2, 2015.

De Faria Oshima, J. E. *et al.* Setting priority conservation management regions to reverse rapid range decline of a key neotropical forest ungulate. **Global Ecology and Conservation**, v. 31, p. e01796, 2021.

Demite, P. R., Moraes, G. J. D., Mcurtry, J. A., Denmark, H. A., Castilho, R. C. (2023) Phytoseiidae Database. Disponível em: <http://www.lea.esalq.usp.br/phytoseiidae/>. Acesso em: 19/02/2023.

Fan, Y., Pettitt, F.L. Functional response of *Neoseiulus barkeri* Hughes on two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). **Experimental & Applied Acarology**, v. 18, p. 613-621, 1994b.

Fan, Y.Q., Pettitt, F.L. Biological control of broad mite, *Polyphagotarsonemus latus* (Banks), by *Neoseiulus barkeri* Hughes on pepper. **Biological control**, v. 4, n. 4, p. 390-395., 1994a.

Figueiredo, SM de M. *et al.* Predição da distribuição de espécies florestais usando variáveis topográficas e de índice de vegetação no leste do Acre, Brasil. 2015.

Filgueiras, R. M. C. Potencial de *Neoseiulus barkeri* Hughes (Acari: Phytoseiidae) como biocontrolador de *Raoiella indica* Hirst (Acari: Tenuipalpidae). 2020.

Gerson, U., Smiley, R. L., Ochoa, R. Mites (Acari) for pest control. Malden: Blackwell, 2008.

Gravena, S. Controle Biológico no Manejo Integrado de Pragas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 281-299, 1992.

Guisan, A., Zimmermann, N. E. Predictive habitat distribution models in ecology. **Ecological Modelling**, v. 135, n. 2-3, p. 147–186, 2000.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., Jarvis, A. Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, p. 1965–1978, 2005.

Ismael, L. L., Rocha, E. M. R., Lins Filho, L. A., Lima, R. P. Resíduos de agrotóxicos em alimentos: preocupação ambiental e de saúde para população paraibana. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 3, p. 20, 2015.

Jafari, S., Fathipour, Y., Faraji, F. Temperature-dependent development of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) on *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) at seven constant temperatures. **Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 220-228, 2012.

Junior, J.S.Z, Lazzarini, A.L., De Oliveira, A.A, Rodrigues, L.A., Souza, I.I.M., Andrikopoulos, F.B., Fornazier, M.J., Da Costa, A.F. Manejo agroecológico de pragas: alternativas para uma agricultura sustentável. **Revista Científica Intellecto**, v. 3, n. 3, 2018.

Karg, W., Mack, S., Baier, B. Advantages of oligophagous predatory mites for biological control. **Bulletin SROP (France)**, 1987.

Landers, J. N., Oliveira, H. N. Controle biológico: o próximo pulo do gato. **Revista Plantio Direto & Tecnologia Agrícola**. v. 28, n. 162, p. 2-4, 2018.

Mcmurtry, J. A., Croft, B. A. Life styles of Phytoseiidae mites and their roles in biological control. **Annual Review Entomological**, v. 42, n. 1, p. 291-321, 1997.

Mcmurtry, J. A., Moraes, G. J. De, Sourassou, N. F. Revision of the lifestyles of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) and implications for biological control strategies. **Systematic & Applied Acarology**, v. 18, n. 4, p. 297 - 320, 2013.

Mcmurtry, J. A., Sourassou, N. F., Demite, P. R. The Phytoseiidae (Acari:Mesostigmata) as Biological Control Agents. **Prospects for biological control of plant feeding mites and other harmful organisms**, p. 133-149, 2015.

Mineiro, J. L. D. C., Sato, M. E., Raga, A., Arthur, V., Moraes, G. J. D., Sarreta, F. D. O., & Carrijo, A. Diversidade de ácaros (Arachnida: Acari) em Coffea arabica L. cv. Mundo Novo, nos municípios de Jeriquara e Garça, Estado de São Paulo. **Biota Neotropica**, v. 6, 2006.

Moraes, G. J., De Alencar, J. A., De Lima, J. L. S., Yaninek, J. S., & Delalibera Jr, I. (1993). Alternative plant habitats for common phytoseiid predators of the cassava green mite (Acari: Phytoseiidae, Tetranychidae) in northeast Brazil. **Experimental & applied acarology**, v. 17, n. 1-2, p. 77-90, 1993.

Moraes, G. J. De., Mcmurtry J. A., Dinamarca H. A., Campos C. B. Um catálogo revisado da família dos ácaros Phytoseiidae, v. 434, n. 1, 2004.

Moraes, G.J, Flechtmann, C.H.W. Manual de acarologia: acarologia básica e ácaros de plantas cultivadas no Brasil. **Holos**, 2008.

Mouden, S., Sarmiento, K. F., Klinkhamer, P. G., Leiss, K. A. Integrated pest management in western flower thrips: past, present, and future. **Pest Management Science**, v. 73, n. 5, p. 813-822, 2017.

Naimi, B., Hamm, N. A. S., Groen, T. A., Skidmore, A. K., Toxopeus, A. G. Where is positional uncertainty a problem for species distribution modelling? **Ecography**, v. 37, p. 191–203, 2014.

Naimi, B., Araujo, M.B., sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, v. 39, n. 4, p. 368-375, 2016

Negm, M. W., Alatawi, F. J., Aldryhim, Y. N. Biology, predation, and life table of *Cydnoseius negevi* and *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) on the old world date mite, *Oligonychus afrasiaticus* (Acari: Tetranychidae). **Journal of Insect Science**, v. 14, n. 1, p. 177, 2014.

Nomikou, M., Janssen, A., Sabelis, M. W. Phytoseiid predators of whiteflies feed and reproduce on non-prey food sources. **Experimental & applied acarology**, v. 31, p. 15-26, 2003.

Nomikou, M., Janssen, A., Schraag, R., Sabelis, M. W. Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. **Experimental & Applied Acarology**, v. 25, n. 4, p. 271-291, 2001.

PARRA, J. R. P. Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores. Editora Manole Ltda, 2002.

Parra, J. R. P. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, p. 420-429, 2014.

Pearce, J. L., Boyce, M. S. Modelling distribution and abundance with presence-only data. **Journal of applied ecology**, v. 43, n. 3, p. 405-412, 2006.

Peterson, A., et al. Ecological Niches and Geographical Distributions Princeton. (MPB-49). **Princeton University Press**, 2011.

Phillips S. J., Anderson, R. P., Dudík, M., Schapire, R. E., Blair, M. E. Opening the black box: an open-source release of MaxEnt. **Ecography**, v. 40, n. 7, p. 887–893, 2017.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., Schapire, R. E. Modelling and analysis of the atmospheric nitrogen deposition in North Carolina. **International Journal of Global Environmental**, v. 6, p. 231-252, 2006.

Picanço, M. C., Manejo integrado de pragas. Viçosa, MG: UFV, 2010.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acessado em: 18/04/2023.

Ramos, R. S., Kumar, L., Shabani, F., Picanço, M. C. Mapping global risk levels of *Bemisia tabaci* in areas of suitability for open field tomato cultivation under current and future climates. *PLoS ONE* 13(6): e0198925, 2018.

Rodríguez-Cruz, F.A., Janssen, A., Pallini, A. et al. Two predatory mite species as potential control agents of broad mites. *BioControl* v. 62, p. 505–513, 2017.

Sabelis, M.W., Dicke, M. Long-range dispersal and searching behaviour. *In: Helle, W.; Sabelis, M.W. (orgs.). World Crop Pests. Spider mites their biology, natural enemies and control.* Amsterdam: Elsevier, 1985. p. 141-160.

Silvertown, J., Plant coexistence and the niche. ***Trends in Ecology & Evolution***, v. 19, n. 11, p. 605–611, 2004.

Soberon, J., Peterson, A. Townsend. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. 2005.

Stiling, P. Why do natural enemies fail in classical biological control programs?. ***American Entomologist***, v. 39, n. 1, p. 31-37, 1993.

Tennekes, M. “tmap: Thematic Maps in R.” ***Journal of Statistical Software***, v. 84, p. 1-39, 2018.

Thompson, I., et al. Forest resilience, biodiversity, and climate change. *In: A Synthesis of the Biodiversity/Resilience/Stability Relationship in Forest Ecosystems.* Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, pp. 1-67, 2009.

TOPBIO. TOPBio Sistemas Biológicos. Barkmax *Neoseiulus barkeri*. Disponível em: <https://topbiobrasil.com.br/produto/barkmax/>. Acesso em: 19/02/2023.

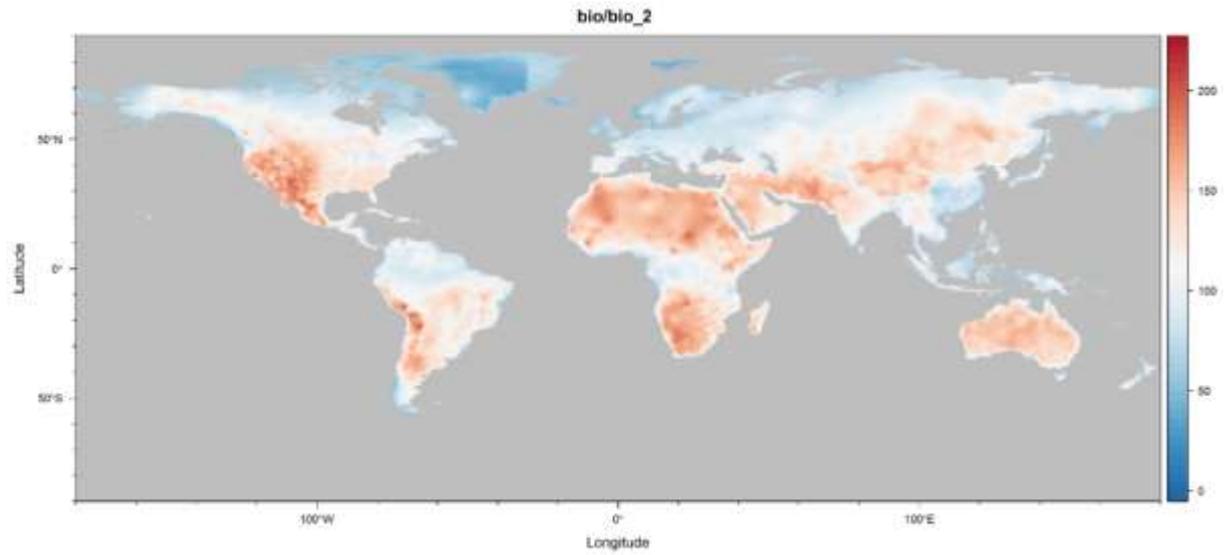
Urbanek, S. 2021. rJava: Low-Level R to Java Interface. R package version 1.0-6. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=rJava>. Acessado em: 16/04/2023.

Xia, B., Zou, Z., Li, P., Lin, P. Effect of temperature on development and reproduction of *Neoseiulus barkeri* (Acari: Phytoseiidae) fed on *Aleuroglyphus ovatus*. **Experimental & Applied Acarology**, v. 56, p. 33-41, 2012.

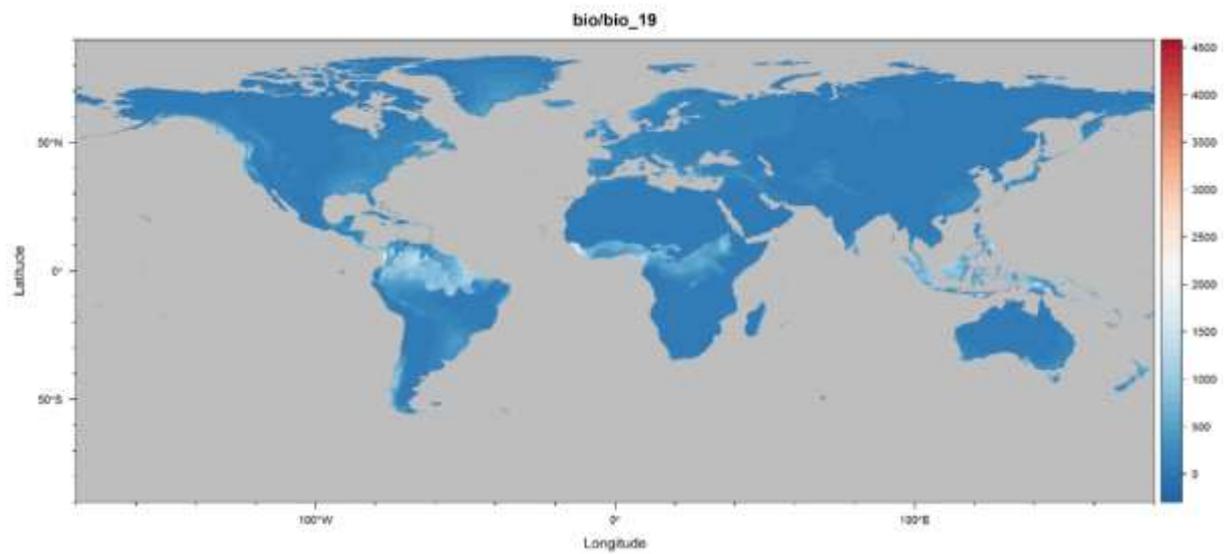
Wickham, H., François, R., Henry, L., Müller, K., 2022. dplyr: A Grammar of Data Manipulation_. R package version 1.0.10, Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>. Acessado em: 16/04/2023.

Wickham, H., Girlich, M., 2022. tidyr: Tidy Messy Data_. R package version 1.2.1. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=tidyr>. Acessado em: 16/04/2023.

ANEXOS



Anexo 1. Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))



Anexo 2. Precipitation of Coldest Quarter