



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
NÚCLEO DE REFERÊNCIA EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS DO TRÓPICO
ECOTONAL DO NORDESTE (TROPEN)
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE (MDMA)
Avenida Universitária, n° 1310 – Fone (86) 3215-5566
E-mail: mdma@ufpi.edu.br

AMANDA MENESES DA SILVA

EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E DISTRIBUIÇÃO DE *SICARIUS CARIRI*
(ARACHNIDA) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

TERESINA-PI
2022

AMANDA MENESES DA SILVA

**EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E DISTRIBUIÇÃO DE *SICARIUS CARIRI*
(*ARACHNIDA*) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio ambiente, da Universidade Federal do Piauí, para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Utilização dos Recursos Renováveis

Orientador: Paulo Roberto Ramalho Silva

Coorientador: Paulo César Lima Sales

TERESINA-PI

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

S586e Silva, Amanda Meneses da.
Emergência climática e distribuição de *Sicarius cariri*
(Arachnida) no semiárido brasileiro / Amanda Meneses da Silva. --
2022.
58 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí,
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio
Ambiente, Teresina, 2022.

“Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho Silva”.

“Coorientador: Prof. Dr. Paulo César Lima Sales”.

1. Emergência climática. 2. Biomod2. 3. Modelagem de nicho.
4. Preservação. I. Silva, Paulo Roberto Ramalho. II. Sales, Paulo
César Lima. III. Título.

CDD 595.4

AMANDA MENESES DA SILVA

**EMERGÊNCIA CLIMÁTICA E DISTRIBUIÇÃO DE *SICARIUS CARIRI*
(ARACHNIDA) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí, como requisito à obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Linha de Pesquisa: Biodiversidade e Utilização Sustentável dos Recursos Naturais.

Orientador(a): Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho Silva

Coorientador(a): Prof. Dr. Paulo César Lima Sales

Aprovado em 05 de setembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

**Paulo
Roberto
Ramalho
Silva**

Prof. Dr. Paulo Roberto Ramalho Silva (UFPI)
(Orientador(a))

Documento assinado digitalmente



MARCELO RIBEIRO MESQUITA
Data: 01/11/2022 17:38:03-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Assinado de forma digital
por Paulo Roberto Ramalho
Silva Dados: 2022.11.01
01:24:28
03:00'

Prof. Dr. Marcelo Ribeira Mesquita (IFPI)
Examinador Externo

Documento assinado digitalmente



DENIS BARROS DE CARVALHO
Data: 02/11/2022 15:25:10-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Denis Barros de Carvalho (UFPI)
Examinador Interno

Dedico esta, bem como todas as minhas demais conquistas, aos meus amados pais Aderson Vieira e Maria Neusa Meneses, aos meus irmãos Anderson Meneses e Alex Vieira e principalmente as Minhas avós Cecília Maria da Silva e Aurora Meneses dos Santos (*in memoriam*), com todo o meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, por me conceder saúde e sabedoria para ultrapassar todos os obstáculos enfrentados ao longo do mestrado.

Aos professores do Tropen, UFPI – *Campus* Ministro Petrônio Portela, pelas disciplinas ministradas (importantes para o desenvolvimento do projeto), bem como pela disposição em auxiliar sempre que possível.

Agradeço ao professor Dr. Arthur Henrique Freitas Florentino professor da UFPI-Campus Senador Helvídeo Nunes de Barros por me auxiliar no estágio à docência, onde foi possível aplicar na prática todo o conhecimento adquirido de forma teórica em sala de aula. Além disso, essa experiência permitiu a abordagem de temas trabalhados no meu projeto de pesquisa, me fornecendo uma maior aprendizagem.

Ao meu orientador professor Dr. Paulo Roberto Ramalho Silva, pela paciência em momentos de aflição, pelas correções e ensinamentos ao longo de todo o desenvolvimento do projeto.

Ao meu coorientador Professor Dr. Paulo César Lima Sales, pelo apoio, paciência e ensinamentos ofertados para a elaboração e desenvolvimento deste projeto.

Agradeço também aos professores da banca de qualificação, pelas sugestões realizadas e conseqüentemente para o melhoramento deste projeto de pesquisa.

Agradeço aos meus pais Aderson Vieira da Silva e Maria Neusa Meneses dos Santos Silva, por todo amor e dedicação ao longo de todo o mestrado. Em especial, a minha mãe que esteve sempre ao meu lado me apoiando nos momentos de aflição, me dando força e me encorajando para continuar firme com meus objetivos almejados.

Agradeço também a Maria Lucia, por sempre me dar apoio e força nos momentos difíceis com todo amor e carinho.

Agradeço aos meus irmãos Alex Vieira da Silva e Anderson Meneses da Silva, por todo apoio oferecido nos momentos de aflição ao longo do desenvolvimento deste projeto.

As minhas Amigas: Aparecida Rocha, Tais Santos, Rosarinha Andrade, Mateus Martins, Fernanda Osório, Deni Ferreira, Ana Lúcia, Antônio, Rafaela, Vitória Meneses por todo amor e carinho.

A todos os meus colegas de mestrado por todo apoio ao longo do cumprimento das disciplinas. Agradeço em especial a minha amiga Francielly por todo apoio e carinho ofertados ao longo de todo o mestrado.

Ao meu amigo Esdras pelo auxílio no desenvolvimento deste projeto.

Por fim, agradeço a Kleber Moura da Costa, pelo apoio incondicional nos momentos de aflição, pela paciência, dedicação, amor, carinho entregues ao longo de todo o desenvolvimento desse projeto, por sempre me motivar a nunca desistir dos meus sonhos e por sempre me lembrar de toda a minha força interior.

Tenho um carinho imenso por todos vocês!

“Você nunca sabe a força que têm, até que sua última alternativa é ser forte”

(Johnny Depp)

RESUMO

O avanço acelerado das mudanças climáticas, tem ocasionado interferências drásticas sobre a distribuição de espécies. Diante desse cenário a pesquisa biogeográfica (modelagem) ganha uma posição de destaque como ferramenta de proteção, à medida que permite a visualização clara dessa interferência sobre determinado tipo de espécie e sua área de habitação. Aranhas do gênero *Sicarius* (em especial *Sicarius cariri*) são consideradas como excelentes modelos de estudos biogeográficos, por serem pobres dispersoras e extremamente associadas ao ambiente no qual habita. Para predizer áreas adequadas para o estabelecimento da espécie *Sicarius cariri* sob projeções climáticas atuais e futuras (2050, 2070 e 2090), foi utilizado os modelos preditivos de distribuição. Partindo dos objetivos de: (i) realizar a modelagem do nicho bioclimático de *Sicarius cariri*, (ii) criar um conjunto de projeções para diferentes cenários de mudanças climáticas e, (iii) estimar a adequabilidade da espécie *Sicarius cariri* frente as alterações climáticas em três cenários: atual e futuros (2050, 2070 e 2090). Para a coleta de dados de ocorrências foram utilizados o GBIF e *Specieslink*; Enquanto que os dados ambientais foram extraídos do *Worldclim* (variáveis ambientais passaram por uma filtragem através da PCA); para a associação entre os dados de espécie e dados climáticos foram utilizados algoritmos do tipo GLM, GBM, RF, GAM e o Maxent, além de procedimentos adicionais como: produção de pseudo-ausências e validações cruzadas. Todos estes conjuntos de modelos foram verificados quanto a sua eficiência, por meio de métricas do tipo TSS, ROC e KAPPA. Em sequência foram criados conjuntos de modelos, para posteriormente realizar as projeções de adequabilidade de *Sicarius cariri* (condições atuais e futuras). Por fim, foi realizado uma projeção conjunto para obter a distribuição espacial da espécie. Dentre as variáveis, somente 5 (bio2, bio4, bio7, bio15 e Alt), apresentaram influência sobre a distribuição de *Sicarius cariri*. Quando testados os modelos, obteve-se um destaque para RF, PA3 e RUN3, como mais eficientes na predição. Os resultados de modelagem demonstraram que a adequabilidade de nicho para a espécie é restrita em maioria para áreas do semiárido, além de alguns pontos (áreas com enclaves de floresta seca no Cerrado) localizados nos estados do Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. Com a realização da verificação da distribuição da espécie no futuro e a quantificação da perdas e ganhos de áreas de adequabilidade os resultados mostraram que o habitat poderá ser reduzido em 50 % em 2050, em 53% em 2070 e quase 71% em 2090. Portanto, com a realização do presente estudo, foi possível entender como as mudanças climáticas podem influenciar sobre a disposição espacial de *Sicarius cariri* e consequentemente como esses indivíduos respondem frente a essas mudanças. Dessa forma, estudos de modelagem de nicho tornam-se cruciais para além de permitir uma visualização da interação entre condição ambiental e espécie, possibilitar o planejamento de ações conservacionistas.

Palavras-chave: Emergência climática; Biomod2; Modelagem de nicho; Preservação.

ABSTRACT

The accelerated advance of climate change has caused drastic interference on the distribution of species. In view of this scenario, biogeographic (modeling) research gains a prominent position as a protection tool, as it allows a clear visualization of this interference on a certain type of species and its habitat area. Spiders of the genus *Sicarius* (especially *Sicarius cariri*) are developed as models for biogeographic studies, by poor dispersers and extremely associated with the environment without any habitat. Based on the objectives: (i) to carry out a modeling of the bioclimatic niche of *Sicarius cariri*, (ii) to create a set of projections for different scenarios of climate change of *Sicarius* and, (iii) to estimate the suitability of the niche species of *Sicarius cariri* for to climate change in three climate change scenarios: current and future (2050, 2070 and 2090). For the collection of occurrence data, GBIF and Specieslink were used; that environmental environments were extracted (environment variables through a PCA data analysis); For the association of species and climatic data between data from other species and climatic data, GBM, RF, GAM and Maxent of additional procedures were used, such as: production of pseudo-absences and cross-validation. All these sets of models were selected for their efficiency, through measurements of the TSS, ROC and KAPPA type. In sequence, sets were created, to later be used as adequacy models (current and future conditions). Finally, a joint project was carried out to obtain a spatial distribution of the species. Among the 19 bioclimatic variables, only 5 (bio2, bio4, bio7, bio15 and Alt highlighted) influence the distribution of *Sicarius cariri*. When the models were tested, RF, PA3 and RUN3 stood out as the most efficient in the prediction. The modeling results showed that the niche suitability for the species is restricted mostly to semiarid areas, in addition to some points (areas with dry forest enclaves in the Cerrado) located in the states of Goiás, Minas Gerais and Mato Grosso do Sul. With the verification of the distribution of the species in the future and the quantification of losses and gains of suitability areas, the results showed that the habitat could be reduced by 50% in 2050, by 53% in 2070 and almost 71% in 2090. Therefore, with the accomplishment of the present study, it was possible to understand how climate changes can influence the spatial arrangement of *Sicarius cariri* and consequently how these individuals respond to these changes. In this way, niche modeling studies become crucial, in addition to allowing a visualization of the interaction between environmental condition and species, enabling the planning of conservation actions.

Keywords: Climate emergency; Biomod2; Niche modeling; Preservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização do semiárido brasileiro.....	25
Figura 2- Mapa de localização de pontos de ocorrências da espécie <i>Sicarius cariri</i>	32
Figura 3- Distribuição de <i>Sicarius cariri</i> (azul), sobre os pontos de distribuição das variáveis ambientais (vermelho) no ambiente espaço definido pelos dois primeiros eixos (x e y) da PCA (a) e correlação das variáveis bioclimáticas em função dos dois primeiros eixos (x e y) da PCA (b)	33
Figura 4- Variáveis bioclimáticas utilizadas para a modelagem de <i>Sicarius cariri</i>	34
Figura 5- Conjuntos de pseudo-ausências PA1, PA2 e PA3, onde as presenças estão representadas em verde, as ausências em vermelho e as áreas não definidas em cinza.....	35
Figura 6 - Desempenho dos modelos (por algoritmo, por validação cruzada e por pseudo-ausências) de acordo com as métricas ROC (AUC) e TSS. Os pontos representam a média de pontuação da avaliação e a linhas se referem ao intervalo de confiança.....	36
Figura 7 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de <i>Sicarius cariri</i> , no cenário atual.....	40
Figura 8 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de <i>Sicarius cariri</i> , para um cenário futuro (2050)	40
Figura 9 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de <i>Sicarius cariri</i> , para um cenário futuro (2070)	41
Figura 10 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de <i>Sicarius cariri</i> , para um cenário futuro (2090)	41
Figura 11 - Gráfico demonstrativo das mudanças de intervalo previstas para <i>Sicarius cariri</i> entre as e condições presentes e futuras.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição das espécies de <i>Sicarius</i> (Arachnida).....	21
Tabela 2 - Variáveis bioclimáticas.....	27
Tabela 3 - Média da importância das variáveis bioclimáticas por algoritmos.....	37
Tabela 4 - Média da importância das variáveis bioclimáticas por conjuntos de pseudo-ausência e conjunto de validações cruzadas mais precisos.....	37
Tabela 5 - Conjuntos de modelos: média do comitê (a) e média ponderada	38
Tabela 6 - Mudanças nos intervalos da espécie <i>Sicarius cariri</i>	42
Tabela 7 - Média da importância das variáveis bioclimáticas por conjuntos de pseudo-ausência e conjunto de validações (possibilidades de cruzamento A)	57
Tabela 8 - Média da importância das variáveis bioclimáticas por conjuntos de pseudo-ausência e conjunto de validações. (possibilidades de cruzamentos B)	58

LISTA DE ABREVIATURAS

AUC	Area Under the Curva
CA	Committee Averaging
CMIP6	CMIP5 Coupled Model Intercomparison Project Phase 6
GAM	Generalised Additive Models
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
GBM	Gradient Boosting Machine
GLM	Generalized Linear Model
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
PCA	Principal Component Analysis
RCP	Representative Concentration Pathways
RF	Random Forest
ROC	Receiver Operating Characteristic
TSS	True Skill Statistics
WM	Weighted Mean

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
2.REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
2.1 Aranhas.....	15
2.2 Importância das aranhas.....	15
2.2.1 Controle das populações de espécies.....	15
2.2.2 Aranhas como bioindicadoras.....	17
2.2.3 Importância médica e biogeográfica.....	19
2.2.3.1 <i>Sicariidae</i>	19
2.2.3.2 <i>Sicarius cariri</i>	21
2.3 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC.....	23
3.METODOLOGIA	25
3.1 Área de estudo.....	25
3.2 Dados de ocorrências de <i>Sicarius cariri</i>	25
3.3 Dados ambientais.....	26
3.4 Modelagem.....	27
3.5 Validação.....	28
3.6 Construções de conjuntos de modelos.....	29
3.7 Projeções de distribuição.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Dados de espécie.....	31
4.2 Variáveis ambientais.....	32
4.3 Conjuntos de pseudo-ausências e validações cruzadas.....	34
4.4 Validação dos modelos.....	35
4.5 Conjuntos de modelos.....	37
4.6 Projeções conjuntas.....	38
4.7 Mudança de intervalo de espécie.....	42
5. Considerações Finais	49
REFERÊNCIAS	50

1.INTRODUÇÃO

Estudos envolvendo a distribuição de espécies (biogeografia) se destacam cada vez mais ao passar dos anos, devido a sua relevância tanto para preservação das espécies como também no impulsionamento do desenvolvimento de estratégias adequadas para o uso e conservação das paisagens onde esses indivíduos habitam (FIGUEIRÓ, 2015).

À vista disso a, novas tecnologias vêm sendo aperfeiçoadas (modelos ambientais/modelagem de nicho ecológico) possibilitando que pesquisas com essa temática não só sejam trabalhadas nas áreas de ecologia e biologia evolutiva, como também possam ser incluídas nas áreas de biologia invasiva e biologia do clima global (IBS, 2020). Dentro desse contexto, ferramentas como a modelagem de nicho ecológico torna-se fundamental pois permite uma compreensão mais apurada de como os fatores ambientais e distribuição de determinada espécie estão relacionados no tempo e espaço selecionado.

A modelagem de nicho ecológico é uma ferramenta capaz de fornecer o entendimento de padrões de distribuição de organismos, através de modelos ambientais (GUISAN; THUILLER, 2005). Os procedimentos envolvidos nestes modelos consideram como sendo nicho ecológico a junção de todas as variáveis, tanto físicas como biológicas, atuando sobre os organismos, representando assim um estado do ambiente em que um conjunto de condições e características permitem que uma espécie sobreviva e se reproduza respectivamente (HUTCHINSON, 1957).

Aranhas do gênero *Sicarius* são consideradas como excelentes modelos de estudos biogeográficos, devido à presença de duas principais características: apresentar-se como pobres dispersoras e serem fortemente associadas ao ambiente no qual estão inseridas (MAGALHAES et al. 2014; MAGALHAES; BRESCOVIT; SANTOS, 2013). Este gênero pertence à família Sicariidae (onde também se inclui um gênero irmão *Loxosceles*) é conhecido como aranha de seis olhos ou aranha da areia (devido ao comportamento de se enterrar), haplóginas (estrutura reprodutora simples), de médio a grande porte, tendo sua adaptação restrita a ambientes xéricos (DUCAN et al., 2007.; MAGALHAES; BRESCOVIT; SANTOS, 2017.; MAGALHAES; BRESCOVIT; SANTOS, 2013.; REISKIND, 1969.; WORD SPIDER CATALOGO, 2021).

Entre as pesquisas de biogeografia ligadas ao gênero *Sicarius* vale mencionar Binford et al. (2008), que testaram a hipótese de vicariância (eventos causados pela deriva continental sobre a distribuição da família Sicariidae) utilizando como métodos a filogenética molecular e análises de datação molecular. Ao final desta pesquisa constatou-se que os dados apresentados suportam padrões de relacionamentos que são consistentes com a hipótese e que além de

apresentarem importância na área biogeográfica, alertam sobre a atenção que deve ser dada a sistemática do grupo mencionado.

Além desta, uma pesquisa mais recente de Magalhaes et al. (2019) apresentou como foco examinar a diversificação das linhagens de Sicariinae e explorar a importância da conservação de nicho filogenético sobre a distribuição deste grupo em ambiente xéricos neotropicais. Como principais resultados foi relatado que: em sua história evolutiva o gênero *Sicarius* apresenta capacidade de dispersão limitada e forte conservadorismo de nicho filogenético, sendo estes os principais determinantes na sua distribuição e responsáveis pelo seu isolamento e falta de capacidade de habitar outras áreas.

Apesar de estudos envolvendo *Sicarius* serem realizados ao redor do mundo (ALMEIDA et al., 2017; ANGULO-CASTAÑEDA; CASTAÑO-ARIAS, 2018.; ARÁN-SEKUL et al., 2018.; ZOBEL-THROPP; BODNER; BINFORD, 2010) no Brasil pouca atenção tem sido dada ao gênero, isso porque *Loxosceles* apresenta uma maior visibilidade dentro da família devido a sua importância médica e, conseqüentemente, os estudos relacionados ao gênero *Sicarius* ao longo de muitos anos foram suprimidos. Para o semiárido brasileiro onde esses indivíduos estão diretamente associados poucos são os registros de pesquisas, e muito menos direcionadas para modelagem de nicho no contexto das mudanças climáticas dessa região (MAGALHAES; BRESOVIT; SANTOS, 2013; MAGALHAES; BRESOVIT; SANTOS, 2017).

Levando-se em conta o avanço da ação antrópica sobre a perda da biodiversidade torna-se necessário o uso de ferramentas que forneçam o conhecimento apropriado sobre os impactos ambientais (fragmentação, mudanças climáticas entre outros), visando minimizá-los. Diante desse cenário a pesquisa biogeográfica (modelagem) ganha uma posição de destaque como ferramenta de proteção, à medida que permite a visualização clara da ação antropogênica sobre determinado tipo de espécie e sua área de habitação (GIANNINI et al., 2012).

Diante do exposto, o presente estudo tem como problema de pesquisa responder se as mudanças climáticas ao longo do tempo causarão alteração no nicho de *Sicarius cariri* e se as áreas adequadas para habitação dessa espécie serão reduzidas ou não com essas modificações. O estudo parte da hipótese de que com as mudanças do clima o nicho bioclimático de *Sicarius cariri*, sofrerá alterações em sua estrutura perdendo áreas de adequabilidade, devido à extrema associação da espécie ao atual cenário climático. O estudo apresenta como objetivos: (i) realizar a modelagem do nicho bioclimático de *Sicarius cariri* (ii) criar um conjunto de projeções para diferentes cenários de mudanças climáticas e, (iii) estimar a adequabilidade da espécie *Sicarius cariri* frente as alterações climáticas em três cenários atual e futuros (2050, 2070 e 2090).

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Aranhas

Araneae compõe a segunda maior ordem de aracnídeos, com um total de 50.472 espécies descritas no mundo (CODDINGTON; LEVI, 1991; CODDINGTON, 2005; WORD SPIDER CATALOGO, 2022). Está presente predominantemente nos mais variados tipos de ambientes terrestres, sendo representada por dois grupos: a subordem Mesothele considerada como as aranhas mais primitivas e a subordem Ophistothele constituída de duas infraordens: Araneomorphae e Mygalomorphae (GONZAGA, et al. 2020; PLATINICK, 1976).

Atualmente as aranhas (Araneae) são descritas em 132 famílias, que integram 4.283 gêneros (WORD SPIDER CATALOGO, 2022). Com base no estudo realizado por Brescovit et al. (2011), até o ano de 2008 a diversidade de aranhas para região neotropical abrangia um total de 11.280 espécies, sendo o Brasil o país com a maior diversidade apresentada, com cerca de 3.203 espécies registradas em 659 gêneros distribuídas em 72 famílias. Certamente, a quantidade dessas descrições para a região neotropical se expandiu nos últimos anos, devido as realizações de novos estudos sobre a diversidade da comunidade de araneofauna, onde foram abordados temas como: diversidade de aranhas litorâneas do Maranhão (CUNHA et al., 2012), diversidade de aranhas em remanescentes de Mata Atlântica (LIMA et al., 2019), diversidade de aranhas na Amazônia (NOGUEIRA et al., 2021) entre outros (PEREIRA & PIRES, 2020; ROSA et al., 2019; SILVA; PAULA RIBEIRO & LUCIO, 2014).

No que concerne as características gerais do corpo destes indivíduos é de vital importância destacar uma divisão corporal em dois segmentos: cefalotórax e abdômen interligados por uma estrutura denominada por pedicelo. Além disso, apresentam apêndices distribuídos em quatro pares de pernas (locomoção), um par de palpos (alimentação), um par de quelíceras (alimentação), além da presença de fiandeiras (produção da seda) (BONALDO, 2009).

2.2 Importâncias das aranhas

2.2.1 Controle de população de espécies

A comunidade de araneofauna é considerada de grande importância ecológica, por estar envolvida em um dos processos essenciais para manutenção e equilíbrio nos ecossistemas, o

controle de populações de espécies, alimentando-se em especial de insetos (RIECHERT; LOCKLEY, 1984). De acordo com o estudo de Gonzaga et al. (2020) existe uma estimativa de que as aranhas a nível mundial consomem cerca de 395-805 toneladas de insetos ao ano. Consequentemente, por apresentar forte potencial predador são indicadas para manejo de pragas em ambientes agrícolas, técnica está denominada como controle biológico (MALONEY; DRUMMOND; ALFORD, 2003).

De acordo com o decreto nº 4.074, de 4 de Janeiro de 2002 inciso III, o controle biológico envolve a utilização de um agente biológico de controle, defino como:

“Organismo vivo, de ocorrência natural ou obtido por manipulação genética, introduzido no ambiente para o controle de uma população ou de atividades biológicas de outro organismo vivo considerado nocivo” (BRASIL, 2002. p 1).

O controle biológico natural é uma técnica que possui como principal objetivo controlar determinados tipos de pragas utilizando seus inimigos naturais (seres vivos). Trata-se de uma alternativa sustentável para agricultura, pois os inimigos naturais diferentes dos agrotóxicos não ocasionam problemas para a saúde humana (doenças em humanos transmitidas através do consumo do alimento) e ambiental (contaminação do solo, rios entre outros). Dessa forma é uma importante ferramenta para a diminuição do uso de produtos químicos, sendo contribuinte para uma melhor qualidade do alimento, redução da contaminação nos ecossistemas e consequentemente para o avanço da sustentabilidade nos ambientes de agrossistemas (EMPRAPA, 2022).

As aranhas são adequadas para o papel de agente biológico devido ao seu forte potencial predador. Apresentam uma diversidade diretamente relacionada com a quantidade de alimento disponível em cada ambiente, pois é por meio da predação que ocorrerá a execução das atividades efetuadas por esse grupo no ambiente ao qual ele está ou pretende se estabelecer (PUGA et al., 2018). Essa afirmação é reforçada pelo estudo de Podgaiski & Rodrigues (2017), que pesquisaram se o acréscimo na complexidade de serapilheira em plantações de pinus exóticos influenciaria sobre a abundância de aranhas de solo. Ao final da pesquisa os dados demonstram que a aplicação da serapilheira mais elaborada entre as plantações, apresentaram forte influência na permanência da diversidade do grupo no local estudado.

A abordagem de aranhas como possíveis agentes de controles biológicos já vêm sendo alvo de estudos a bastante tempo. Como exemplo pode-se mencionar MORAES, LOECK & BELARMINO (1991), que realizaram um levantamento de possíveis predadores de duas espécies de lagarta da soja, a *Rachiplusia nu* e a *Pseudoplusia includens* no Rio Grande do Sul.

Como resultados da pesquisa, entre todos os predadores das lagartas foi obtido que as aranhas em especial a *Nabis sp.*, *Lebia consinna*, *Geocaris sp* e *Crysopa sp*. Foram as que mais se destacaram como fortes predadoras para esses tipos de pragas da soja.

Na mesma linha de raciocínio Barbosa et al. (2005) realizaram uma pesquisa centrada no controle sustentável de pragas. Esse estudo apresentou como objetivo realizar um levantamento de pragas e seus possíveis predadores em culturas de mangueiras do Vale São Francisco, Brasil. Os autores apuraram que os principais tipos de artrópode-praga para esse tipo de cultivo é o *Aceria mangiferae* (Sayed) representando 87%, seguido de *Pseudaonidia tribitiformis* (Green) representando 70,1%. Em contrapartida os predadores que mais se destacaram foram os ácaros *Euseius concordis* (Chant) e *E. citrifolius* (Denmark & Muma) (32,7%). Nesse cenário as aranhas obtiveram a 5ª colocação, obtendo uma representatividade de cerca de 16,6%.

Além destes, estudos mais recentes vêm apresentando também uma investigação do uso de aranhas para o manejo de pragas. Como modelo Pereira & Pires (2020), realizaram uma pesquisa voltada para o levantamento da comunidade de araneofauna associada a videiras no estado de São Paulo. Ao final do estudo foram coletados 281 indivíduos distribuídos em 10 famílias das quais somente Araneidae, Theridiidae, Anyphaenidae e Salticidae se destacaram, por apresentar uma melhor adaptação a esses ambientes.

Para Pereira & Pires (2020), estudos dessa natureza são de extrema relevância para o manejo sustentável de pragas, à medida que permite uma visão mais abrangente de quais predadores são mais adequados para aplicação desta técnica e por servir de embasamento para futuras pesquisas acerca do tema. Atualmente existe uma carência de estudos mais aprofundados relacionando as aranhas a determinados tipos de agrossistemas, o que dificulta o entendimento de como trabalhar com esse tipo de predador utilizando a técnica de manejo de pragas, técnica está essencial para o desenvolvimento da sustentabilidade nesses ambientes (RODRIGUES; MENDONÇA; OTT, 2008).

2.2.2 Aranhas como bioindicadoras

O atual modelo econômico tem se baseado no consumo insustentável promovendo enormes impactos ambientais (MARTINE; ALVES, 2015). A degradação de habitats, espécies invasoras, poluição, mudanças climáticas e superexploração tem se intensificado, acarretando a perda da biodiversidade, que vem sendo um dos grandes problemas nos dias atuais (BRASIL, 2010). Dessa forma os habitats que por sua vez apresentam uma complexa estrutura ambiental

favorecendo a existência de muitos nichos ecológicos, acaba por sofrer variações que resultam na diminuição rápida da abundância de espécies presentes nestes locais.

De acordo com Rovedder (2009) a ação antrópica já adentrou praticamente todos os tipos de ecossistemas do planeta terra. Consequentemente têm ocasionado efeitos negativos no desempenho realizado por esses ambientes comprometendo todo o seu funcionamento. Tendo em vista esse cenário, atividades são realizadas a fim da preservação ambiental, como é o caso do monitoramento que pode ser realizado através da bioindicação. Visto como algo muito importante por fornecer informações da vulnerabilidade dos ecossistemas frente as alterações ocasionadas pela ação antrópica (PATUCCI, 2018).

As aranhas têm sido bastante utilizadas como indicadores biológicos para avaliação de impactos ambientais. De acordo com Rosas-Ramos et al. (2020) é importante para pesquisas que buscam o entendimento das características ambientais utilizando as aranhas na forma de monitoramento envolver duas exigências: além da análise taxonômica, deve-se levar em consideração as estratégias de forrageamento e tamanho do corpo desses organismos. Essas características apresentam adaptações ao tipo de habitat ao qual estão inseridas, permitindo uma resposta diferenciada desses indivíduos frente as mudanças ambientais.

Como exemplo Aziz, Butt & Elsheikha (2020) avaliaram o efeito da exposição do Cobre (Cu) e Chumbo (Pb) nas espécies de aranhas *Lycosa terrestres* e *Pardosa birmanica*. Os pesquisadores identificaram que as espécies detêm de uma alta capacidade de acumulação para esses elementos e que os mesmos interferem na sua massa corporal e sobrevivência quando avaliados a um longo tempo de exposição. Dessa forma apresentam forte potencial bioindicador para a avaliação da poluição do solo.

Ainda para Aziz, Butt & Elsheikha (2020), as aranhas apresentam também um forte potencial de acumulação para outros tipos de elementos despejados no solo. Esse cenário pode ser representado pela pesquisa realizada por Hansson et al. (2019), onde foi investigado os efeitos da prática de mineração no Ártico sobre duas espécies de aranhas-lobo (*P. glacialis* vs *P. Groenlandica*). Na apuração dos resultados foram observados que as duas espécies de aranhas podem ser utilizadas na forma de monitoramento ambiental, por apresentarem forte potencial para absorção especialmente do elemento químico Prata (Ag) e Cádímio(Cd).

Em áreas de cultivos são utilizados muitos tipos de inseticidas para o combate à pragas, entretanto essa ação tende a refletir efeitos negativos sobre outros tipos de vidas existentes nesses ambientes. No estudo de Butt, Talib, Khan (2019), foi avaliado o impacto de alguns tipos de inseticidas sobre a comunidade de aranhas. Os resultados demonstram que apesar de alguns

inseticidas deterem de componentes menos tóxicos, apresentam uma interferência na capacidade de predação dessa comunidade.

Por outro lado, há espécies de aranhas que apresentam bastante resistência as variações ocorridas em ambientes de agricultura, ou seja, apresentam adaptação a esses tipos de locais. Como exemplo, Radkova et al. (2019) verificaram a influência do cultivo de batatas sobre a abundância de aranhas epígeas. Nesse ambiente de plantação foram realizadas trocas na variedade de batatas, utilização de pesticidas e mudanças nas formas de irrigação. Entretanto foram observados que não ocorreram modificações significativas na abundância de aranhas. Além disso foi identificado que a espécie *P. agrestis* contabilizou 53-90% das aranhas encontradas, sendo indicada pelos autores como uma possível bioindicadora para essa área.

A fim de contribuir para a conservação e conhecimento local o estudo de Azevedo et al. (2017), teve como objetivo realizar um “inventário da fauna de aranhas existentes em um fragmento de Tabuleiro Litorâneo no interior da Universidade Estadual do Ceará, Nordeste do Brasil”. Os resultados dessa pesquisa demonstraram que a composição na diversidade de aranhas de solo difere de áreas florestais. Para locais que se apresentam mais impactados (áreas abertas, menos serapilheira) há uma contribuição na abundância das famílias de aranhas Lycosidae e Zodariidae. Entretanto é observado que a família Lynphiidae sofre influência negativa nessas áreas sendo representadas em menor abundância.

Silva et al. (2020) afirmam que a preservação de áreas florestais são fundamentais para a proteção da fauna edáfica e para a continuação equilibrada da manutenção dos processos realizados no solo. Na pesquisa de Patucci et al. (2018), foi realizada uma análise da qualidade e biodiversidade de solos em fragmentos florestais urbanos da cidade de São Paulo. Os resultados demonstraram que entre os organismos encontrados os que mais foram representativos em termos de abundância estão inseridos no grupo das aranhas (Araneae) e dos besouros (Coleoptera).

Ainda para a pesquisa de Patucci et al. (2018) foi possível verificar que esses indivíduos são influenciados por variações microclimáticas, cobertura vegetal, qualidade da serapilheira, C.O e macronutrientes. Dessa maneira as espécies apresentam-se como boas indicadoras na forma de monitoramento ambiental, pois apresentam extrema sensibilidade as modificações no meio ambiente.

2.2.3 Importância Médica e biogeográfica

2.2.3.1. Sicariidae

Sicariidae compreende uma família do grupo das aranhas de extrema relevância médica (veneno) e biogeográfica (característica comportamental). Integra um número total de 164 espécies distribuídas em dois gêneros: *Loxosceles* com 143 espécies e *Sicarius* com 21 espécies. *Loxosceles* é o gênero que recebe mais atenção, devido a sua importância médica, sendo as espécies mais chamativas do seu grupo para o Brasil, *Loxosceles laeta*, *Loxosceles gaucho* e *Loxosceles intermedia* mais conhecidas como “aranhas marrom” (ARAN-SEKUL et al, 2018; JUSTA et al., 2020; MS, 2001; SILVA et al, 1988). *Loxosceles* apresenta uma distribuição ampla sendo encontradas desde regiões temperadas a tropicais. Habitam nos mais diversos tipos de habitat em situações naturais e de vida doméstica como, rochas, troncos de árvores e serapilheira de todos os tipos a edifícios externos como celeiros, depósitos, galpões, e em residências também. São aranhas tímidas e sedentárias durante o dia, mas são ativas a noite que é o período no qual saem para caçar depositando suas teias (apresenta textura viscosa) em áreas escuras para a captura de suas presas (GERTSCH, 1967).

Por outro lado, *Sicarius* são aranhas sedentárias, denominadas como aranhas da areia, devido ao comportamento de se enterrar, permanecendo imóvel até suas presas se aproximarem. Esse comportamento adaptativo é possível devido a cutícula no corpo desses animais possuírem macrossetas e cerdas com fios longos permitindo assim a aderência da areia. (MAGALHAES; BRESCOVIT; SANTOS, 2017; DUCAN et al., 2007; REISKIND, 1969). Este gênero é encontrado tanto na África como nas Américas (WORD SPIDER CATALOGO, 2021), especificamente no Brasil, apresenta uma adaptação voltada para o Bioma Caatinga, no entanto, pode ser localizado em pequenos pontos de áreas com Restinga e enclaves de floresta seca (MAGALHAES; BRESCOVIT; SANTOS, 2013).

Além disso, vale mencionar que *Sicarius* não tece teia, ela somente é utilizada pelo macho na hora da copulação. Denominadas como aranhas de seis olhos se dispersam em distâncias curtas através da locomoção ao invés de praticar o balonismo como a maioria das aranhas de outras famílias (BINFORD, 2008; MAGALHAES; BRESCOVIT; SANTOS, 2013). Diante disso, a indicação desses indivíduos para estudos de biogeografia advém do comportamento desse gênero de se enterrar (sobre sedimentos finos como: troncos de árvores caídas, pedras, ou folha de palmeiras e etc) e se manter imóvel, ou seja, sendo pobres dispersores permitindo assim a análise de mudanças ambientais (na Caatinga) sobre esses indivíduos (MAGALHAES; BRESCOVIT; SANTOS, 2017; REISKIND, 1969).

Dentro deste contexto vale ainda citar a técnica de modelagem de nicho ecológico que vêm sendo bastante utilizada na biogeografia, por permitir o entendimento da distribuição de

espécies mediante a variáveis ambientais (GUISAN; THUILLER 2005). Essa técnica torna-se bastante relevante à medida que permite a compreensão das diferentes formas de habitação e preferência da fauna e flora para uma determinada área.

2.2.3.2 *Sicarius cariri*

Sicarius cariri é uma espécie de aranhas do gênero *Sicarius*, que se destaca por ser endêmica do Bioma Caatinga presente somente no Brasil . Além desta, outras espécies também estão presentes no Bioma Caatinga, como: *Sicarius diadorim* (encontradas em troncos e rochas da Caatinga e áreas de ecotono Caatinga-Cerrado), *Sicarius ornatus* (encontradas em ambiente de transição entre Mata atlântica e Caatinga), *Sicarius tropicus* (encontradas sobre rochas de pastagem e em cavernas da Caatinga), *Sicarius jequitinhonha* (MAGALHAES; BRESOVIT; SANTOS, 2013). Na tabela 1 está exposta a lista de espécies do gênero *Sicarius* e sua distribuição.

Tabela 1. Distribuição das espécies de *Sicarius* (Arachnida).

Espécie	Localização geográfica
<i>Sicarius andinus</i>	Peru
<i>Sicarius boliviensis</i>	Bolívia, Peru, Brasil, Paraguai
<i>Sicarius cariri</i>	Brasil
<i>Sicarius crustosus</i>	Chile
<i>Sicarius diadorim</i>	Brasil
<i>Sicarius fumosus</i>	Chile
<i>Sicarius gracilis</i>	Equador, Peru
<i>Sicarius jequitinhonha</i>	Brasil
<i>Sicarius lanuginosus</i>	Chile
<i>Sicarius levii</i>	Chile, Argentina
<i>Sicarius mapuche</i>	Argentina
<i>Sicarius ornatus</i>	Brasil
<i>Sicarius peruensis</i>	Peru
<i>Sicarius rugosus</i>	El Salvador, Nicarágua, Costa Rica
<i>Sicarius rupestris</i>	Argentina
<i>Sicarius saci</i>	Brasil
<i>Sicarius thomisoides</i>	Chile

<i>Sicarius tropicus</i>	Brasil
<i>Sicarius utrifomis</i>	Equador
<i>Sicarius vallenato</i>	Colômbia
<i>Sicarius yurensis</i>	Peru, Chile

Fonte: Word Spider Catalogo, 2022.

Sicarius cariri é uma espécie presente na região Central e Nordeste do Brasil, nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Pernambuco, Piauí e Tocantins. Além da Caatinga também podem ser encontradas em vegetação de reestinga e enclaves florestais no domínio do Cerrado. O nome dessa espécie advem de uma homenagem “ O nome da espécie homenageia o povo Cariri, grupo de nativos americanos cujo território é localizada no Nordeste do Brasil. Cariri é uma palavra que significa silencioso ou mal-humorado” (MAGALHAES; BRESOVIT; SANTOS, 2013).

Existem características entre as espécies de *Sicarius cariri* e outras do mesmo gênero que se difere por exemplo:

“As fêmeas diferem das de outros espécies por ter menos ramos nas espermatecas, que são altamente convolutas e geralmente longas. As fêmeas subadultas têm poucos (8-10) ramos incipientes nas espermatecas, que são muito semelhantes em forma às dos adultos” (MAGALHAES; BRESOVIT; SANTOS, 2013).

Entre as características anatômicas da espécie *Sicarius cariri* é possível destacar algumas em especial:

Macho apresenta Comprimento total 12,25. Carapaça: comprimento 5,93, largura anterior 2,44, largura da região torácica 6,34. Altura do clipeo 0,97. Diâmetros e interdistâncias dos olhos: Esterno: comprimento 2,43, largura 3,14. Perna I: fêmur 8,17, patela 2,75, tibia 9,1, metatarso 7, tarso 3,34. II: fêmur 9,4, tibia 9,6. III: fêmur 8,4, tibia 8,1. IV: fêmur 7,92, patela 2,47, tibia 7,75, metatarso 6,42, tarso 2,92. Opistossoma: comprimento 5,83, largura 5,42. **Feminino** (IBSP 56025, Guaribas, Piauí). Total comprimento 13,05. Carapaça: comprimento 5,83, largura anterior 2,94, largura da região torácica 6,41. Altura do clipeo 1,02. Esterno: comprimento 2,51, largura 3,12. Perna I: fêmur 6,14, patela 2,27, tibia 6,68, metatarso 4,98, tarso 2,8. II: fêmur 6,75, tibia 6,58. III: fêmur 6,25, tibia 5,58. IV: fêmur 6,2, patela 2,04, tibia 5,8, metatarso 4,84, tarso 2,52. Opistossoma: comprimento 6,58, largura 6,08. Seis picadas no fêmur palpal. Espermatecas como nas Figs 72-85, 136-137, 144-145 (MAGALHAES; BRESOVIT; SANTOS, 2013).

2.3 Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas, mais conhecido pela sigla IPCC é uma organização que envolve membros das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e da Organização Meteorológica Mundial (OMM). Foi desenvolvido em 1988 com objetivo de fornecer informações globais sobre as mudanças climáticas, seu impacto sobre o meio ambiente e conseqüentemente baseado nesses dados auxiliar na produção de políticas climáticas para a redução de tais efeitos (IPCCa, 2022).

No IPCC são produzidos três tipos de relatórios: os relatórios de avaliação abrangente, relatórios especiais e relatórios metodológicos.

Os Relatórios de Avaliação abrangentes abordam sobre o conhecimento das mudanças climáticas, suas causas, impactos potenciais e opções de resposta. O IPCC também produz Relatórios Especiais, que são uma avaliação sobre um tema específico e Relatórios Metodológicos, que fornecem diretrizes práticas para a elaboração de inventários de gases de efeito estufa (IPCCa, 2022, tradução nossa).

O relatório de avaliação abrangente mais recente foi lançado em outubro de 2021 e é intitulado de “*Climate change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*”. Com base no resumo técnico, neste relatório são tratados os impactos das alterações do clima sobre “Ecossistemas, sociedades humanas e suas cidades, assentamentos, infraestruturas e sistemas industriais, bem como vulnerabilidades e riscos futuros vinculados a diferentes trajetórias de desenvolvimento socioeconômico (IPCCb, 2022, tradução nossa).

De acordo com o resumo técnico do relatório *Climate change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* sua estrutura apresenta três focos primordiais. Em primeiro lugar são tratadas as estruturas de riscos (“Consequências adversas das mudanças climáticas sobre os ecossistemas e sistemas humanos”) e soluções que estão diretamente relacionadas a gestão de riscos, em busca de um desenvolvimento resiliente ao clima e avaliações de adaptação considerando as perdas e ganhos para o futuro (IPCCb, 2022, tradução nossa).

Em segundo lugar o relatório apresenta uma atenção voltada para a “justiça social, equidade”, além de diferentes formas de especialização de cada lugar, pois a maneira como as mudanças climáticas atingem determinadas áreas variam não só conforme ao contexto geográfico da área como também se relaciona à vulnerabilidade presente. A vulnerabilidade é conceituada neste relatório como “A propensão ou predisposição a ser adversamente afetado e

abrange uma variedade de conceitos e elementos incluindo sensibilidade a danos e falta de capacidade para lidar e se adaptar”. (IPCCb, 2022, tradução nossa).

Em terceiro lugar o relatório apresenta como foco auxiliar no processo de “transformação e cumprimentos das metas sociais” relacionadas as mudanças climáticas, pois informa situações previstas para determinadas áreas conforme as variações do clima. Atualmente existem vários acordos entre as nações como, os Objetivos do Acordo de Paris, Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) entre outros tendo estes como intuito promover “soluções viáveis e específicas para cada área em busca de um desenvolvimento resiliente ao clima” (IPCCb, 2022, tradução nossa).

Diante do exposto é verificado que o tema “mudanças climáticas” é retratado de forma abrangente nos relatórios do IPCC, sendo demonstrado através de dados o reflexo explícito das consequências advindas do avanço desenfreado das ações humanas sobre o meio ambiente. Autores como Assad et al. (2004) afirmam que o efeito de alterações climáticas podem influenciar de forma benéfica ou não sobre os ecossistemas, resultado este que está diretamente atrelado aos fatores bióticos e abióticos de cada local. No entanto é visto que as alterações climáticas vem ocasionando cenários cada vez mais criticos do que o inverso.

Para Assad et al. (2004) países como o Brasil que possuem uma gama de climas e diferentes tipos de solos possibilita vantagens a determinados tipos de flora presente da área tornando-as resistente a altas temperaturas. No entanto, até mesmo plantas resistente ao calor possuem um limite de tolerância. Dessa maneira, mesmo que existam plantas aptas as variações extremas de temperatura elas podem sofrer influências sobre a sua permanência em determinado local. Esse cenário é representado mediante a forma como a planta irá reagir diante dessas alterações.

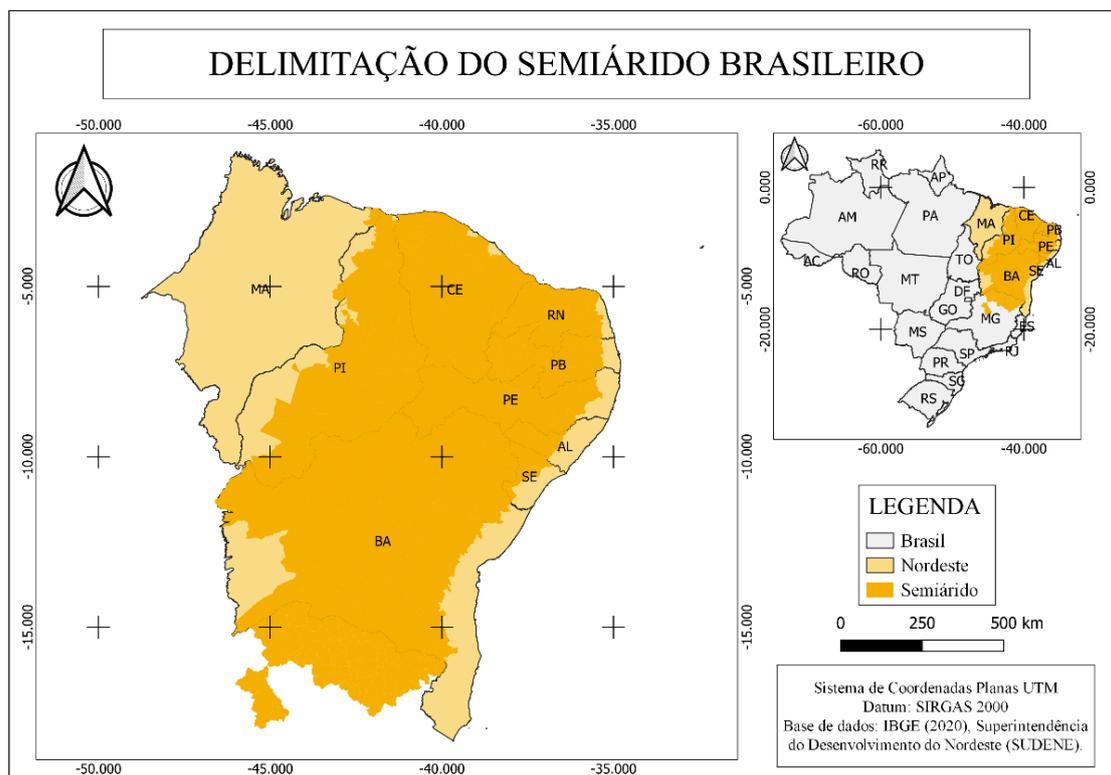
O interesse pelo tema “emergência climática”, “mudanças climáticas” ganha cada vez mais espaço na sociedade mediante aos efeitos negativos sobre fauna e flora presente e também sobre a população (em especial a mais vulnerável) que sofre danos como: escasses de água, insegurança alimentar entre outros problemas relacionados ao clima. Diante desse cenário o tema vem sendo pauta em “distintas esferas, da formulação de políticas públicas às demandas de movimentos sociais, e têm demonstrado a possibilidade de colocar em xeque o arsenal crítico-conceitual tradicionalmente mobilizado para se pensar nas relações sociedade-natureza (FLEURY; MIGUEL; TADDEI, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O semiárido brasileiro localiza-se no Nordeste (figura 1), estendendo-se por uma área que agrega 1262 municípios distribuídos em 10 estados brasileiros (Maranhão, Piauí, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Alagoas, Sergipe, Minas Gerais e Rio Grande do Norte). A delimitação dessa região é de inteira responsabilidade da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, sendo aplicado como critérios de classificação três características, a presença de “uma precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; o índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e; o percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano” (SUDENE, 2017; IBGE, 2018).

Figura 1 – Mapa de localização do semiárido brasileiro



Fonte: Base de dados IBGEa (2020), SUDENE (2017)

3.2 Dados de ocorrência de *Sicarius*

As ocorrências (coordenadas geográficas) da espécie *Sicarius cariri* foram adquiridas através do GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*), uma rede internacional de dados que visa fornecer a nível mundial acesso as todas as formas de vida na terra. Além deste, também foi utilizado o *speciesLink*, uma rede que agrega informações sobre a biodiversidade brasileira. Tanto o GBIF como *speciesLink* são de livre acesso permitindo assim que um público amplo (de pesquisadores) aplique os registros das espécies em suas publicações (GBIF, 2021; SPECIESLINK, 2021).

Devido aos dados desse estudo conterem somente informações de presença é dada a necessidade da produção de conjuntos de pseudo-ausências (também designadas como dados de fundo) realizada no biomod2 (pacote localizado no software livre R) sobre diferentes tipos de procedimentos (cruzamento de amostragem aleatória com 1000 dados de fundo* 3). Essas pseudo-ausências são na verdade áreas não definidas (não se tem a informação de presença e ausência) utilizadas para dar contraste estatístico aos pontos de ocorrência na modelagem (SOBERÓN; PETERSON, 2005).

3.3 Dados ambientais

A coleta dos dados ambientais foi realizada através do Wordclim (banco de dados climáticos e meteorológicos globais), resultando na extração de 19 variáveis bioclimáticas (chamadas de bioclim) no formato de grade raster com resolução de 10 minutos de arco (tabela 2) além da variável altitude. Em sequência essas variáveis foram submetidas a um processo de filtragem sendo selecionadas as variáveis menos correlacionadas e conseqüentemente que apresentavam maior relevância sobre a distribuição de *Sicarius cariri* (WORDCLIM, 2020).

Para isso foi utilizada uma PCA (*Principal Component Analysis*) permitindo a verificação da correlação entre as variáveis e posteriormente a escolha mais adequada para a modelagem. De acordo com (GUISAN; THUILLER e ZIMMERMANN, 2017) é recomendável escolher variáveis ambientais que não estão fortemente correlacionadas evitando assim problemas de multicolinearidade que podem conduzir a resultados e interpretações errôneas na adequação de habitat.

Visando a distribuição de *Sicarius cariri* não só nas condições climáticas atuais, como também futuras, realizou-se a extração de projeções climáticas para 2050, 2070 e 2090 através do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), com base em um conjunto de dados do Couple Model Intercomparison Project Phase 6(CMIP6), utilizando como modelo climático,

o BCC- CSM2-MR(*Beijing Climate System Model*), com ssp245-bc(*Representative Concentration Pathways*).

Tabela 2. Variáveis bioclimáticas

Código	Descrição das variáveis bioclimáticas
BIO1	Temperatura média anual
BIO2	Variação diurna média (Média do mês (T _{máx} -T _{mín}))
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (*100)
BIO4	Sazonalidade de temperatura (desvio padrão *100)
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio
BIO7	Amplitude térmica anual (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura média do trimestre 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 chuvoso
BIO14	Precipitação do mês mais seco
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)
BIO16	Precipitação do trimestre mais chuvoso
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco
BIO18	Precipitação do trimestre mais quente
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio

Fonte: Wordclim (2020)

3.4 Modelagem

No processo de modelagem é necessário o uso de algoritmos para realizar a associação das variáveis ambientais e dados de ocorrência. Neste estudo foram utilizados cinco tipos de algoritmos: GLM, GAM, duas abordagens de *bagging* e *boosting* e o *Maxent*.

Os GLMs (*Generalized Linear Models*) constituem uma família de modelos de regressão, que somente sobre uma ótica linear possibilitam verificar a influência das variáveis

predictivas (variáveis climáticas) sobre as variáveis explicativas (ocorrências). GAM (*Generalized Additive Models*) representa uma extensão dos GLMs, que traz em seu conjunto a possibilidade de investigar os efeitos em covariáveis sobre uma perspectiva não linear (CONCEIÇÃO; SALDIVA; SINGER, 2001; HASTIE; TIBSHIRANI, 1986).

Bagging (Bootstrap Agregation), é uma técnica de ensacamento que envolve um procedimento de separação de dados (de uma amostragem em conjuntos de teste e de aprendizagem) de forma aleatória (com substituição). Essa separação resulta em amostras de *bootstrap* que serão utilizadas de forma individual para testes de técnicas, onde as versões finais originadas são combinadas e pôr fim a média desses resultados são avaliadas por árvores de regressão ou votação. Para este estudo foi aplicada a técnica de *Bagging* do tipo RF (*Random Forest*) (BREIMAN, 1996).

Em contradição com a técnica de *bagging*, “*Boosting (Machine Learning)*, não realiza o ensacamento e sim utiliza uma média simples (em árvores de regressão ou votação de classificação de árvores) visando a previsão geral de modelos” (GUISAN; THULLER; ZIMMERMANN, 2017). Neste estudo, foi utilizada a técnica de *Boosting* do tipo GBM. GBM (*Gradient Boosting Machine*) é uma técnica usada para projetar previsões a partir de um conjunto de diferentes tipos de modelos (FRIEDMAN, 2001.; SCHRODER; LUIZ, 2020).

Por último foi utilizado o método de Maxent (entropia máxima), indicado para análises de modelagem de nicho quando não se possui todas os dados da espécie (somente dados de presença). Esse método apresenta como objetivo “estimar uma probabilidade alvo de distribuição, encontrando a distribuição de probabilidade de entropia máxima (ou seja, que é mais espalhada, ou mais próximo do uniforme”, sendo submetida a um conjunto de restrições (falta de informações), já que os dados necessários para a análise são incompletos (Philips et al., 2006)

Além da utilização dos algoritmos mencionados acima, também foi realizado a técnica de validação cruzada para a avaliação dos modelos.

3.5 Validação do modelo

Nesta etapa realizou-se a avaliação do poder preditivo dos modelos (conjuntos de pseudo-ausências, algoritmos GLMs, GAM, RF, GBM, Maxent e os modelos de validação cruzada) através de duas técnicas, a curva ROC e TSS.

A curva ROC projeta o desempenho dos modelos graficamente, sendo o eixo y a representação da taxa de sensibilidade (taxa positiva verdadeira) e o eixo x 1-especificidade

(taxa de falsos positivos) à medida que a curva se aproxima do canto superior esquerdo melhor representa a qualidade do teste. Com o intuito de agregar todos os pontos da curva ROC (representação da curva ROC) utiliza-se a área sob curva - AUC (*area under the ROC curve*). A AUC gera valores (scores) que estando abaixo de 0,5 representam um teste potencialmente ruim e próximos de 1,0 apresentam excelente potencial. Dessa maneira esses valores refletem a chance de classificação correta dos modelos, indicando ser os melhores os que são próximos a 1,0 (HOO; CANDLISH; TEARE, 2017; POLO; MIOTO, 2020; METZ, 1986; HANLEY et al., 1989).

A segunda técnica utilizada para avaliar o poder preditivo dos modelos foi a *True Skill Statistic* (TSS). O TSS é um método que apresenta capacidade intuitiva de medir as previsões de presença e ausência baseando-se na sensibilidade e especificidade, projetando os resultados dentro de um intervalo de variação de -1 a 1, onde +1 indica um bom desempenho de concordância, já os valores próximos ou abaixo de 0 indicam baixo desempenho (ALLOUCHE, O; TSOAR, A; KADMON, 2006).

3.6 Construções de conjuntos de modelos

O próximo passo implica na construção de conjuntos de modelos. Para isto foi utilizada a função `BIOMOD_EnsembleModeling` (realizada no software livre R), considerando somente a média do comitê e média ponderada. A técnica TSS (0,8 = ou > são mantidos) foi utilizada como referência de avaliação para construção de comitês e definição de peso (GUISAN; THUILLER; ZIMMERMANN, 2017).

3.7 Projeções de distribuição

A última etapa envolveu a utilização da função `BIOMOD_Projection` e `BIOMOD_EnsembleForecasting` (realizada no software livre R) para realizar a técnica de projeção de modelos. Em sequência, ocorreu a projeção de mapas de adequabilidade de nicho, ou seja, as áreas mais apropriadas para a habitação de *Sicarius cariri* (o estudo direcionou as projeções futuras somente para os anos de 2050, 2070 e 2090). Devido as mudanças nas quais o nicho adequado pode sofrer ao passar dos anos foi realizada uma quantificação e representação dessas alterações utilizando as funções `BIOMOD_funçãoRangeSize` e `BIOMOD_RangeSize` (realizada no software livre R).

Todas as análises foram executadas no *software* livre R, com os pacotes ‘rgbif’, ‘biomod2’, ‘ggplot2’, ‘gridextra’, ‘raster’ e ‘ade4’. A metodologia aplicada neste estudo foi baseada no livro intitulado “*Habitat suitability and distribution models: with applications in R*” de Guisan, Thuiller & Zimmermann (2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados de espécie

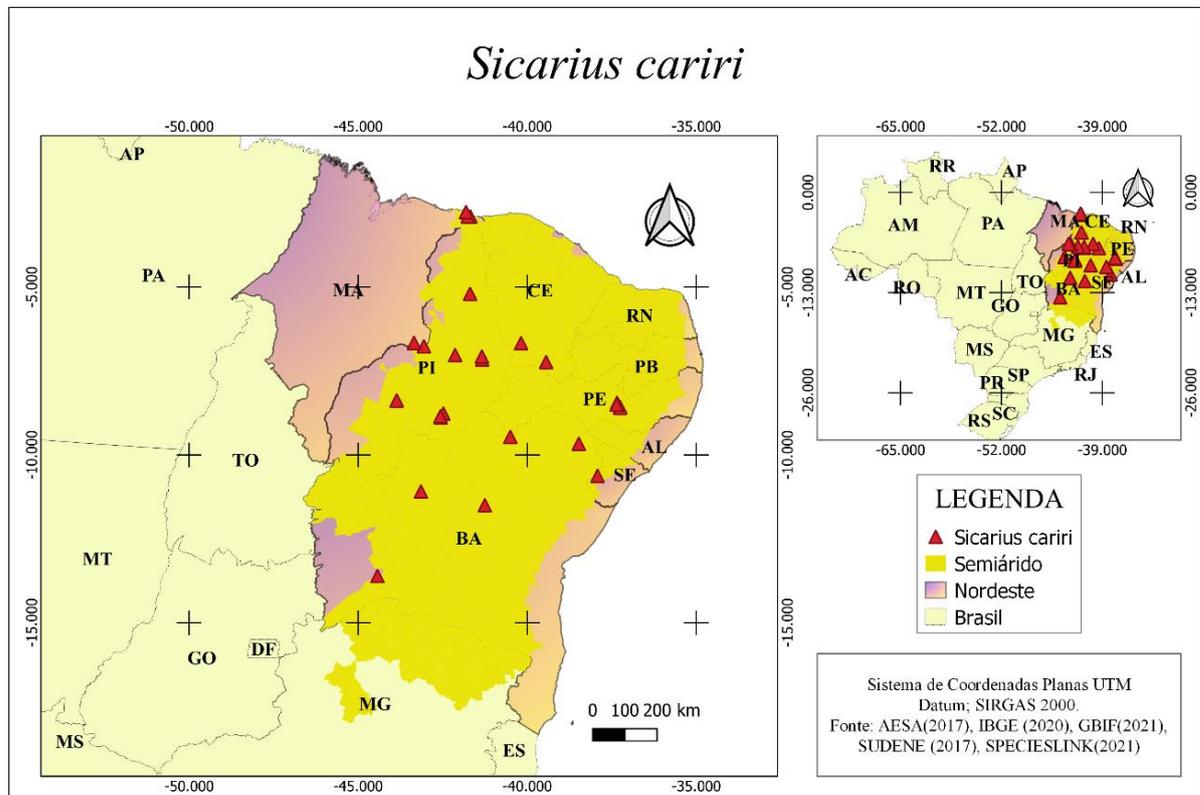
Através dos instrumentos de coletas de dados (Gbif e *Species link*) foram localizados 29 pontos de ocorrências da espécie *Sicarius cariri* (representados na figura 2). Ao analisar o mapa, pode-se verificar a presença da espécie particularmente concentrada nas regiões semiáridas do Brasil, devido a essa fauna compor um grupo (do gênero *Sicarius*) cuja distribuição geográfica se limita a ambientes xéricos, como ´desertos e florestas tropicais sazonalmente secas, localizados na África, América do Sul e América Central (BINFORD, 2008).

Segundo Wordward e Kelly (2003) a distribuição geográfica/preferência por um tipo de habitat está diretamente atrelada a limites fisiológicos adquiridos ao longo do processo evolutivo sofrido por uma determinada espécie, para a mesma conseguir permanecer na área colonizada.

O processo evolutivo das espécies envolve a influência tanto de fatores bióticos como também abióticos. As barreiras geográficas (lagos, montanhas, rios entre outras) como fator abiótico apresentam forte interferência sobre a dispersão dos organismos, pois impede o deslocamento contínuo das espécies entre ecossistemas. Dessa forma, indivíduos do mesmo grupo podem ser isolados em áreas com características (clima, temperatura, vegetação, relevo, altitude entre outras) distintas. Em cada área distinta indivíduos de mesma espécie desenvolvem adaptações fisiológicas diferentes, mas que são condizentes para sua permanência (BARVE et al., 2011; BINFORD, 2008; GERALDINO; VITTE, 2017; GUI SAN, THUILLER & ZIMMERMANN, 2017; HUTCHINSON, 1957).

Dessa forma presume-se que *Sicarius cariri*, assim como outras espécies do gênero passou por processos de adaptações fisiológicas conforme as interferências bióticas e abióticas da área colonizada resultando em uma preferência por áreas com o clima árido apresentando especificamente uma maior adaptação para o Bioma Caatinga existente somente em território brasileiro (IBGE, 2019)

Figura. 2 – Mapa de localização de pontos de ocorrências da espécie *Sicarius cariri*.



Fonte: autor

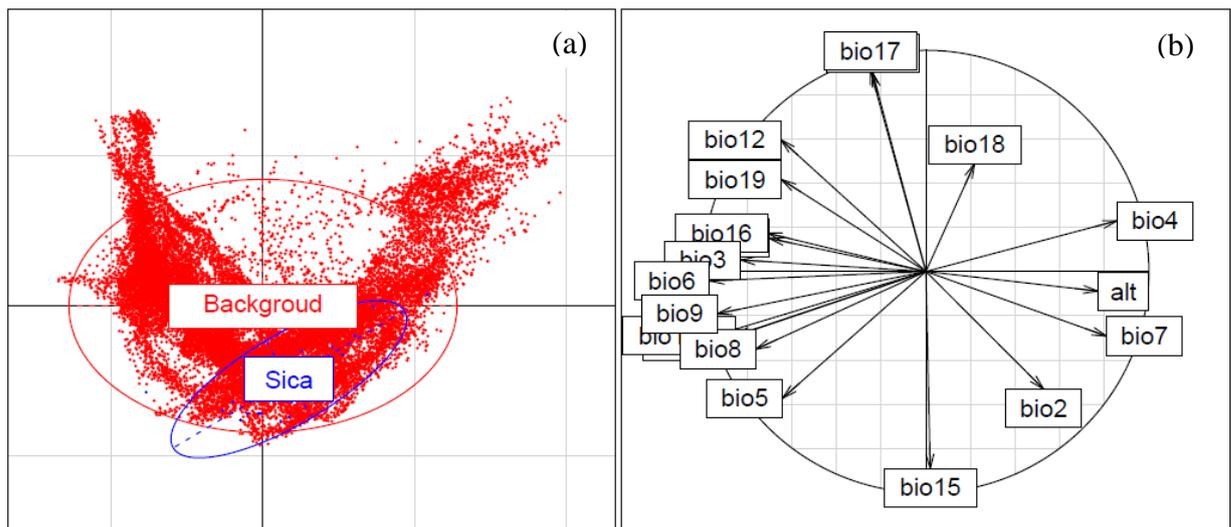
4.2 Variáveis ambientais

Dentre as variáveis utilizadas (19 variáveis bioclimáticas e altitude) somente as mais importantes para a distribuição de *Sicarius cariri* foram consideradas. Por meio da PCA (*Principal Component Analysis*) é possível observar que *Sicarius cariri* ocupa uma área específica do espaço selecionado (Brasil), no gráfico definida pelos dois primeiros eixos (x e y) (figura 3a). Logo em sequência, a projeção gráfica da correlação entre as variáveis climáticas e as ocorrências da espécie, permite a visualização das variáveis mais adequadas para as análises (figura 3b). O critério de escolha envolveu a seleção de variáveis não muito colineares (exemplo de variáveis colineares no PCA: “com setas sobrepostas, setas na mesma direção ou setas em direções opostas”) (GUISAN; THUILLER; ZIMMERMANN, 2017). GAUDIO e ZANDONADE (2001) abordam que quando utilizadas variáveis estreitamente correlacionadas, as mesmas geram problemas de dependência linear e valores imprecisos nos dados, promovendo resultados errôneos acerca da distribuição da espécie na qual esteja se trabalhando.

Dessa forma, ao analisar o gráfico (figura.3b) entende-se que as variáveis mais apropriadas para o processo de modelagem de *Sicarius cariri* sejam **bio2** (Variação diurna média), **bio7**(Amplitude térmica anual), **bio15** (Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação) e a **altitude** (selecionadas pela PCA), já que elas apresentam suas setas dentro do gráfico apontadas para direções ortogonais. Apesar de ter sido selecionada pelo critério de conhecimento da biologia da espécie a variável **bio4** (Sazonalidade de temperatura) também se enquadra no padrão de relevância sobre a distribuição de *Sicarius cariri*.

Os dados aqui apurados podem ser equiparados aos de Magalhaes, Brescovit & Santos (2013), que investigou a influência do clima sobre a distribuição do gênero *Sicarius*. Assim como nessa pesquisa o estudo do autor mencionado anteriormente obteve que BIO2 (variação diária de temperatura) e BIO15 (estacionalidade da precipitação), apresentam forte interferência, mas não somente sobre a distribuição geográfica de uma espécie (exemplo: *Sicarius cariri*) como também sobre o gênero (*Sicarius*) em geral. Além disso, BIO3 (isotermalidade), BIO5 (temperatura máxima do mês mais quente), BIO6 (temperatura mínima do mês mais frio), BIO12 (precipitação anual), BIO17 (precipitação do trimestre mais seco), BIO18 (precipitação do trimestre mais quente) e BIO19 (precipitação do trimestre mais frio), apresentaram-se como fortes influentes sobre o processo de distribuição de *Sicarius*.

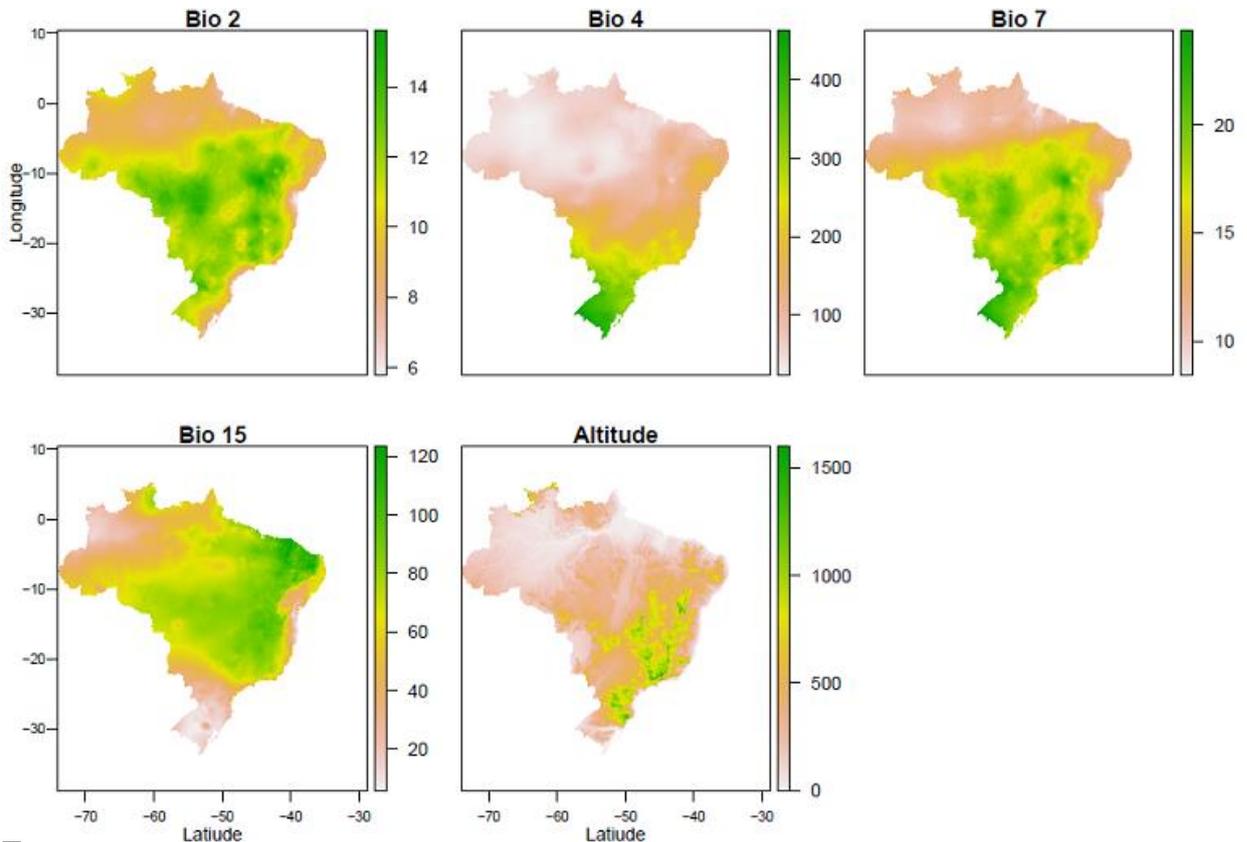
Figura 3 - Distribuição de *Sicarius cariri* (azul), sobre os pontos de distribuição das variáveis ambientais (vermelho) no ambiente espaço definido pelos dois primeiros eixos (x e y) da PCA (a) e correlação das variáveis bioclimáticas em função dos dois primeiros eixos (x e y) da PCA (b).



Fonte: autor

Na figura 4, é demonstrado o arranjo espacial das variáveis bioclimáticas (bio2, bio4, bio7 e bio15) sobre o Brasil e sua intensidade em cada região (escala de 100 a 400) representadas por cores, que variam do róseo (menor intensidade) ao verde (maior intensidade).

Figura 4 – Variáveis bioclimáticas utilizadas para a modelagem de *Sicarius cariri*



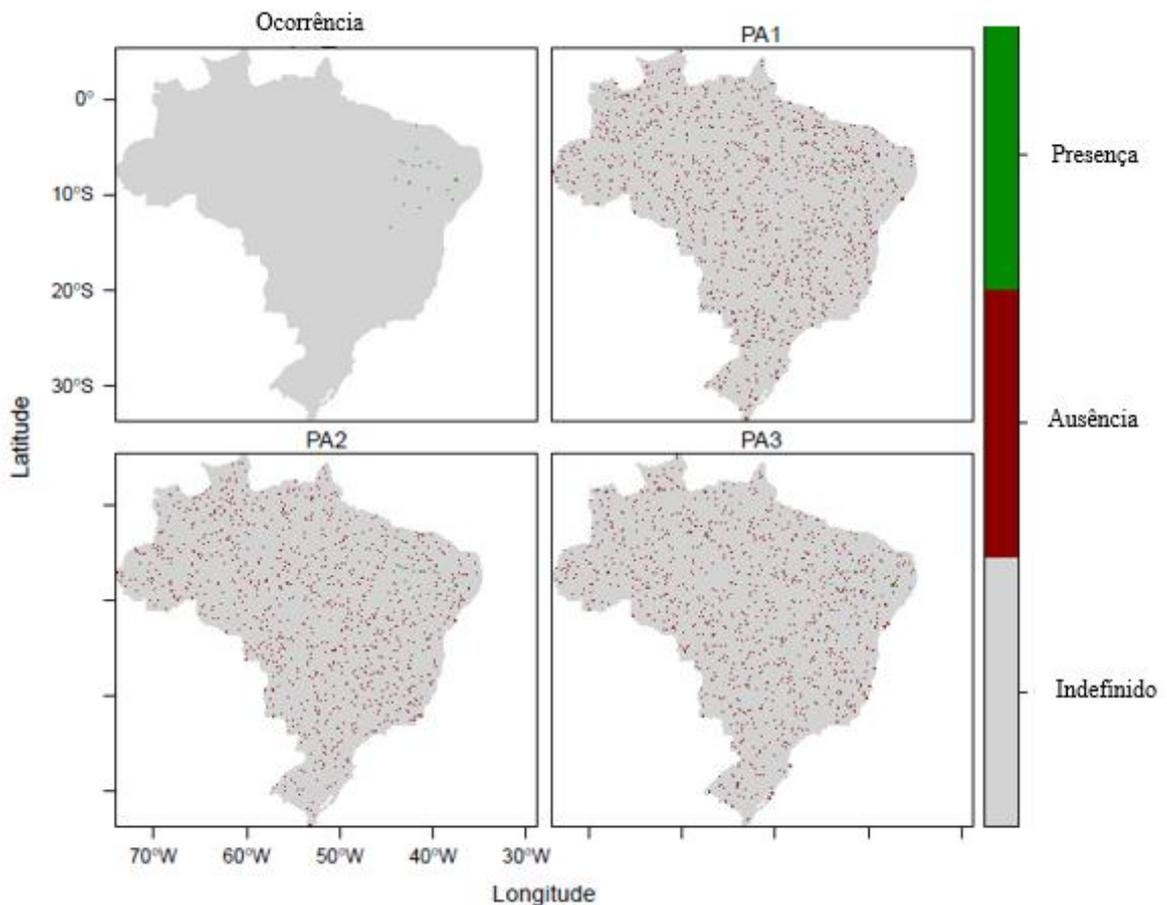
Fonte: autor

4.3 Conjuntos de pseudo-ausências e validações cruzadas

Através de um procedimento estocástico (causado pela seleção aleatória) realizado no ‘biomod2’ (pacote do software livre R) foram produzidas três conjuntos de pseudo-ausências PA1, PA2 e PA3 (Figura 5). Esses conjuntos são essenciais para as análises, pois fornece contraste estatístico para as áreas que apresentam ocorrências de *Sicarius cariri*, evitando problemas na modelagem de adequabilidade de nicho e nas projeções futuras da distribuição de espécie (SOBERÓN; PETERSON, 2005). Em síntese, não é adequado realizar as análises sem as pseudo-ausências visto que há a possibilidade da presença da espécie em outras áreas que, no entanto, podem não ter sido amostradas em estudos científicos. Na figura 5, é possível visualizar os três conjuntos de pseudo-ausências (PA1, PA2 e PA3) distribuídos de forma aleatória no espaço estudado (Brasil).

Além disso, o biomod 2 também foi utilizado como ferramenta para a realização das validações cruzadas (divisão repetida (4x) dos dados com o intuito de avaliar os modelos), aqui utilizadas para calibrar os modelos em 80% dos dados e serem avaliados nos 20% restantes (GUISAN; THUILLER; ZIMMERMANN, 2017). O procedimento de validação cruzada resultou nos conjuntos Run1, Run2, Run3 e Run4 (modelos de validações cruzadas).

Figura 5 – Conjuntos de pseudo-ausências PA1, PA2 e PA3, onde as presenças estão representadas em verde, as ausências em vermelho e as áreas não definidas em cinza



Fonte: autor

4.4 Validação

Todos os modelos (algoritmos - GLMs, GAM, RF, GBM e Maxente, validações cruzadas - RUN1, RUN2, RUN3 e RUN4 e pseudo-ausências - PA1, PA2 e PA3) foram avaliados por métricas do tipo TSS e ROC (= AUC) (Figura 6).

Na avaliação preditiva dos modelos (por algoritmos), RF apresentou o maior destaque em precisão, com uma média localizada entre intervalos de 0,9-1,0 na curva ROC e 0,8-0,9 na

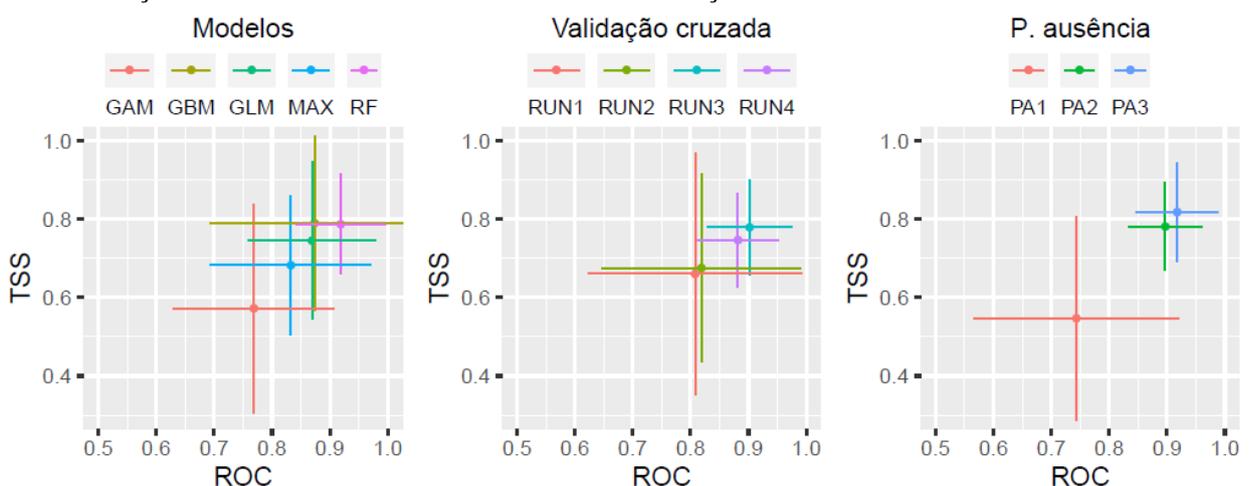
TSS, seguido de GBM com média de 0,8-1,0 na curva ROC e 0,8 em TSS e GLM com média entre 0,8-0,9 na curva ROC e entre 0,7-0,8 na TSS. Por outro lado, Max e GAM demonstraram ser os modelos com o menor poder preditivo com médias entre 0,8-0,9; 0,7-0,8 na curva ROC e 0,6-0,7; 0,5-0,6 na TSS respectivamente.

Com relação aos conjuntos de validações cruzadas, Run3 se destacou com a maior média de pontuação, sendo 0,9 na curva ROC e entre 0,7-0,8 no TSS, seguida de Run 4 com um valor localizado entre 0,8-0,9 na curva ROC e 0,7-0,8 no TSS. Já Run2 apresentou uma pontuação média menor, em torno de 0,9 na curva ROC, e entre 0,7-0,8 na TSS, seguida de Run 1 com uma média entre 0,8-0,9 na ROC e entre 0,7-0,8 na TSS (figura 6)

Referente a análise dos conjuntos de pseudo-ausências, Pa3 se destacou com a maior média de pontuação tanto na curva ROC (0,9-1,0), como também na TSS (0,8-0,9). Enquanto que Pa2 apresenta-se na segunda posição com uma pontuação média de 0,9 na curva ROC e entre 0,7-0,8 na TSS, seguida de Pa 1 com uma média menor de 0,7-0,8 na curva ROC e entre 0,5-0,6 na TSS.

Diante dos dados expostos, foi verificado que RF (*Random forest*), RUN3 e PA3 aparentam ser os modelos de maior poder preditivo em média mediante ao conjunto de dados deste projeto de pesquisa.

Figura. 6 - Desempenho dos modelos (por algoritmo, por validação cruzada e por pseudo-ausências) de acordo com as métricas ROC (AUC) e TSS. Os pontos representam a média de pontuação da avaliação e a linhas se referem ao intervalo de confiança



Fonte: autor

Em sequência foi verificada a média da importância das variáveis por algoritmos (GLM, GBM, RF, GAM e Maxent). De acordo com Guisan, Thuiller & Zimmermann (2017) quanto

maior for o score, maior é a importância das variáveis. Diante disso é observado que as variáveis de maior importância são bio4 e bio7, visto que as mesmas possuem os maiores índices de scores para cada modelo (algoritmo) (Tabela 3).

Tabela 3. Média da importância das variáveis bioclimáticas por algoritmos

	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0,5504166	0,0239166	0,1285	0,5689166	0,2065833
bio4	0,7933333	0,285	0,2851666	0,7505	0,5180833
bio7	0,7195	0,42375	0,3698333	0,774	0,58175
bio15	0,5436666	0,38775	0,27175	0,569	0,0605
alt	0,21766666	0,1464166	0,107	0,2744166	0,475

Fonte: autor

Do mesmo modo foi calculada a média da importância das variáveis sobre os diferentes conjuntos de modelos de pseudo-ausências e validações cruzadas (destacando aqui somente as médias para o conjunto de modelo mais preciso – RF, RUN3 e PA3). Na tabela 4, é possível observar que a média da importância das variáveis bioclimáticas sobre o conjunto de validação cruzada (RUN3) e conjunto de pseudo-ausência (PA3) permanece sendo maior para bio4 e bio7, sendo estas variáveis as mais influentes sobre esse conjunto de modelos e conseqüentemente sobre a distribuição de *Sicarius cariri*. Para maiores esclarecimentos verificar em apêndice a média da importância das variáveis bioclimáticas por conjuntos de pseudo-ausência e conjunto de validações cruzadas (todas as possibilidades de cruzamentos)

Tabela 4. Média da importância das variáveis bioclimáticas por conjuntos de pseudo-ausência e conjunto de validações cruzadas mais precisos.

RUN3, PA3	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.280	0.058	0.139	0.609	0.197
bio4	0.729	0.185	0.285	0.810	0.330
bio7	0.755	0.431	0.396	0.747	0.625
bio15	0.492	0.455	0.233	0.725	0.041
alt	0.172	0.166	0.083	0.196	0.081

Fonte: autor

4.5 Conjuntos de modelos

Foram construídos dois conjuntos de modelos: considerando a média do comite (representado por Ca) e a média ponderada (representada por Wm), tendo como base a técnica

TSS para a avaliação (TSS \geq 0,8 são mantidos). Como é possível observar os conjuntos de modelos apresentaram resultados satisfatórios com avaliação de pontuação superior a 0,9 para TSS e ROC. A média do comite aparenta fornecer uma avaliação ligeiramente melhor do que a média ponderada (Tabela 5).

Tabela 5. Conjuntos de modelos: média do comitê (a) e média ponderada (b)

\$Sicarius.cariri_EMcaByTSS_mergedAlgo_mergedRun_mergedData				
	Testing.data	Cutoff	Sensitivity	Specificity
KAPPA	0.711	980	92.593	99.375
TSS	0.986	944	100.000	98.576
ROC	0.996	944.5	100.000	98.576
\$Sicarius.cariri_EMwmeanByTSS_mergedAlgo_mergedRun_mergedData				
	Testing.data	Cutoff	Sensitivity	Specificity
KAPPA	0.690	657.0	70.37	99.757
TSS	0.957	459.0	100.000	95.623
ROC	0.995	465.5	100.000	95.797

Fonte: autor

4.6 Projeções conjuntas

Partindo dos conjuntos de modelos (Ca e Wm) foi realizada a técnica única e conjunto de projeções, respectivamente resultando na construção de mapas binários de adequabilidade de nicho (contém informações de presença e ausência usando o limite que maximiza as pontuações de TSS). Esses mapas representam no espaço estudado (Brasil) as áreas atuais e futuras mais adequadas e menos adequadas para a habitação de *Sicarius cariri*. Na figura 7, 8, 9 e 10 a “adequabilidade de nicho está representada em unidades de aptidão de habitat prevista multiplicado por 1000” (escala de 0 a 1000) (GUISAN; THUILLER; ZIMMERMANN, 2017). A escala é representada por cores que variam do branco (áreas menos adequadas) ao verde (áreas mais adequadas).

Ao analisar os mapas de Ca (mais preciso) e de Wm (menos preciso), é possível verificar que os remanescentes de áreas mais adequadas para a permanência da espécie (*Sicarius cariri*) localizam-se na região do Semiárido brasileiro tanto no presente como futuro, apesar dessa adequabilidade de nicho sofrer alterações em 2050, 2070 e 2090 com perdas e ganhos de adequabilidade.

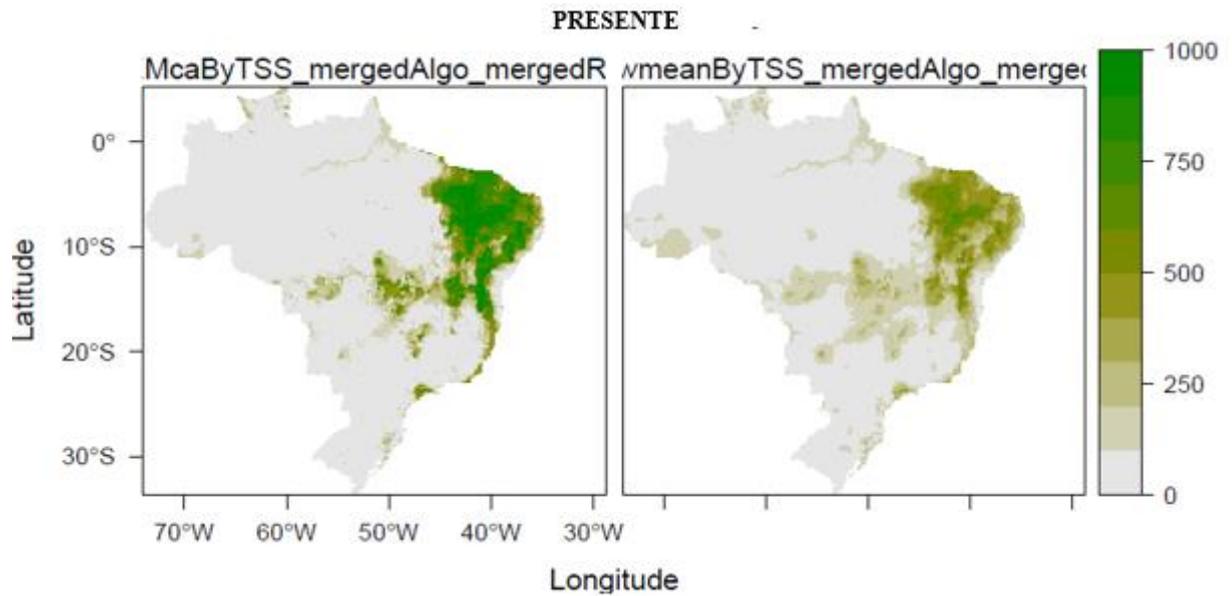
Conforme Magalhaes, Brescovit & Santos (2013) apesar de *Sicarius* serem restritos a ambientes xericos, é também observada a presença desses indivíduos em enclaves de floresta seca no Cerrado localizados nos estados do Tocantins, Mato grosso do Sul e Minas Gerais. Por esse, motivo verificamos pequenos blocos de áreas adequadas aparentemente nos estados de

Mato grosso do Sul, Goiás e Minas Gerais nos mapas (figura 7, 8, 9 e 10). A presença e permanência de *Sicarius cariri* nessas áreas, onde os Biomas se diferenciam da Caatinga deve-se diretamente a adaptações e limites fisiológicos adquiridos em seu processo de evolução Wood e Kelly (2003).

De acordo com Magalhaes, Brescovit & Santos (2013), de forma individual cada espécie do gênero *Sicarius* é confinada em um núcleo de floresta seca ou área desértica, onde essas espécies sobrevivem sobre determinado tipo de condições limitadas. Ao longo dos anos mudanças ambientais (abióticas ou bióticas) criam condições ecológicas extremas nas barreiras geográficas dessas espécies causando distribuições alopátricas e impossibilitando que essas mesmas espécies habitem outras áreas, devido à dificuldade em ultrapassar essas barreiras (WIENS, 2004). Provavelmente esse cenário corrobora com o conservadorismo de nicho de *Sicarius cariri* para essas áreas. Esse estudo pode ser comparado ao estudo de Binford (2008), que verificaram que a diversificação de grupos de espécies de *Sicarius* se dispersaram e diversificaram de forma alopátrica devido ao processo de vicariância, (ocasionado por uma barreira neste caso o Gondwana Ocidental), causando uma distribuição de grupos de *Sicarius* de forma disjunta, por exemplo atualmente se encontra espécies desse gênero em pontos na América do Sul e América Central.

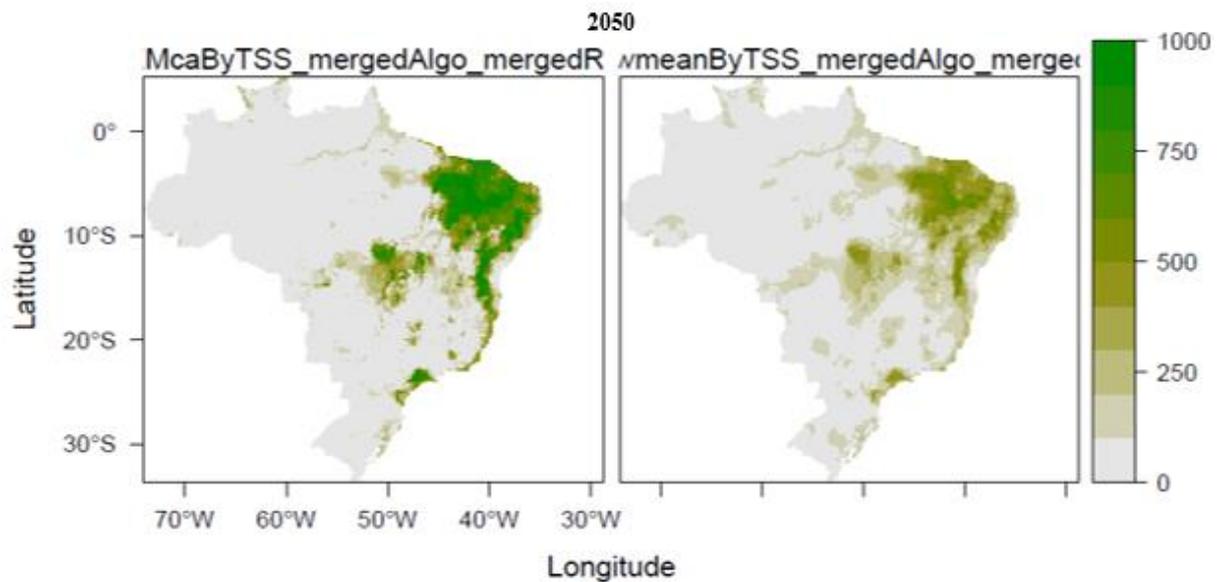
Diante do exposto, podemos supor que *Sicarius cariri* apresenta um limite de tolerância (limites fisiológicos) a determinadas condições ambientais, que fazem com que essa espécie tenha preferências por áreas com temperaturas altas, pois é observado que apesar das mudanças geográficas de adequabilidade de nicho, os pontos mais adequados permanecem se concentrando no Nordeste brasileiro em especial na região semiárida ao longo de todo o período estudado.

Figura. 7 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de *Sicarius cariri*, no cenário atual.



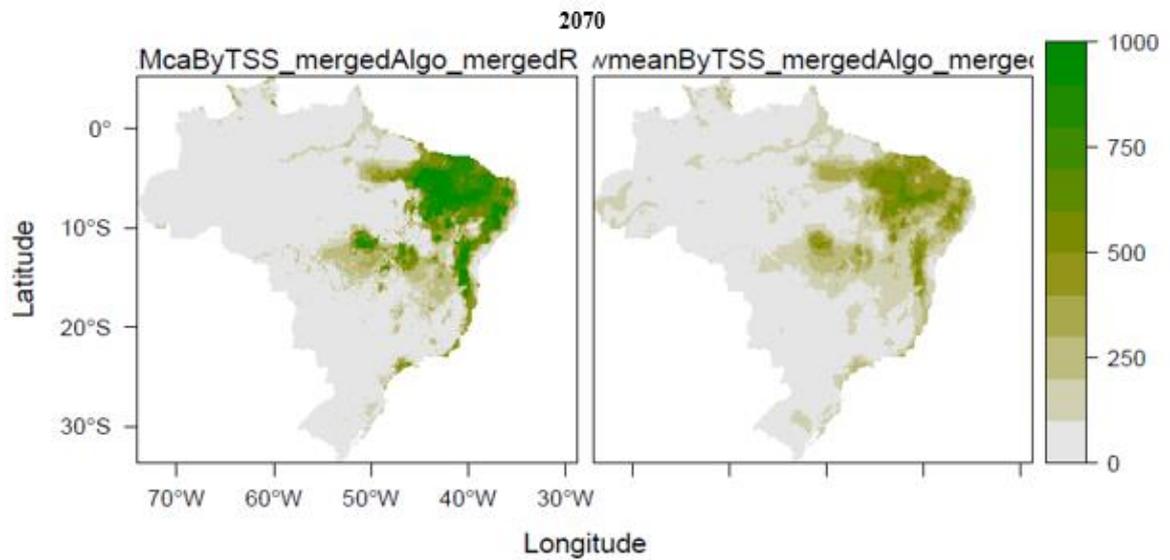
Fonte: autor

Figura. 8 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de *Sicarius cariri*, para um cenário futuro (2050)



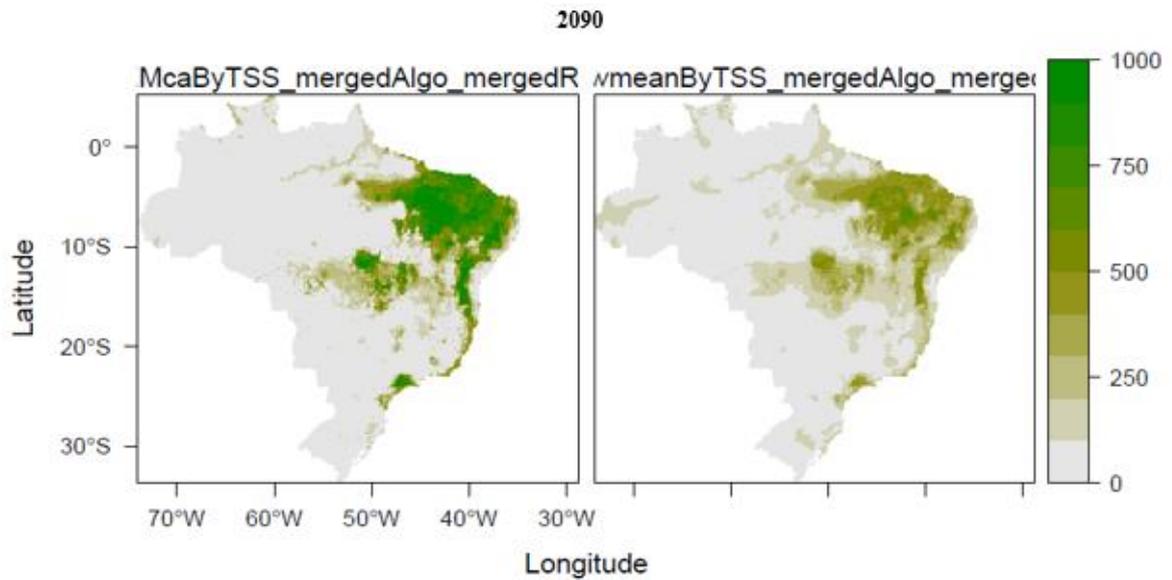
Fonte: autor

Figura. 09 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de *Sicarius cariri*, para um cenário futuro (2070)



Fonte: autor

Figura. 10 - Representação gráfica das regiões que apresentam as condições mais adequadas para habitação de *Sicarius cariri*, para um cenário futuro (2090)



Fonte: autor

4.7 Mudança de intervalo de espécie

Os climas adequados para a espécie de *Sicarius cariri* podem mudar geograficamente no futuro de forma expressiva ou não. Para quantificar e representar essas mudanças ao longo do tempo, foi utilizado como base os mapas binários de adequabilidade, para em sequência, ocorrer a realização do cálculo dessas mudanças nos intervalos de espécies. Como resultado desse procedimento, foi produzida uma tabela estatística de mudanças de alcance dessa espécie e um mapa espacial, representando onde a espécie de *Sicarius cariri* perdeu e ganhou adequabilidade.

A partir da tabela de resultados de mudanças no intervalo de espécie, é possível verificar que *Sicarius cariri* perderá habitat no futuro. De acordo com o conjunto de modelo Ca, o habitat poderá ser reduzido em 50,7 % em 2050, 53,8 % em 2070 e quase 71% (tabela 6) em 2090, o que corrobora de forma expressiva com a nossa hipótese de que com as mudanças climáticas o nicho bioclimático de *Sicarius cariri* perderia adequabilidade.

Tabela. 6 Mudanças nos intervalos da espécie *Sicarius cariri*.

		Perda			Ganho			Tamanho do intervalo			
		Preditivo	Estável	%	Preditivo	Estável	%	Presente	Futuro sem migração	Futuro com migração	
Ca	Pres	0	25084	0	0	475	0	475	475	475	
	2050	241	24916	50.737	168	234	35.368	475	234	402	
	2070	256	24880	53.895	204	219	42.947	475	219	423	
	2090	336	24828	70.737	256	139	53.895	475	139	395	
Wm	Pres	0	24329	0	0	1230	0	1230	1230	1230	
	2050	294	24058	23.902	271	936	22.033	1230	936	1207	
	2070	342	23963	27.805	366	888	29.756	1230	888	1254	
	2090	453	23864	36.829	465	777	37.805	1230	777	1242	

Fonte: autor

De acordo com o IPCCb (2022) o mundo tem experimentado os efeitos das mudanças climáticas de forma muito acelerada, tendo como consequências alterações em todos os tipos de ecossistemas (ecossistemas marinhos, terrestres e de água doce). Espécies de plantas e animais muitas vezes não possuem respostas biológicas capazes de lidar mediante a uma

mudança climática abrupta o que resulta de imediato na sua migração para outra área ou até mesmo na sua extinção.

“O impacto de eventos climáticos extremos afetam diretamente espécies e habitats que apresentam uma maior sensibilidade ao clima” (IPCCb, 2022, tradução nossa). Neste estudo é verificado que *Sicarius cariri* ao longo de seu processo evolutivo adquiriu adaptações fisiológicas que resultaram em sua limitação a áreas com propensão ao clima árido. Com as alterações do clima, o nicho adequado para a habitação dessa espécie se modifica ao longo do anos (2020-2100) induzindo a espécie a sofrer um novo processo de adaptação, o que de acordo com o IPCCb (2022), não é possibilitado quando essas mudanças ocorrem de forma acelerada, pois não fornecem o tempo necessário para esses indivíduos se adaptarem. Como consequência são observados resultados como os desta pesquisa, onde se verifica uma perda expressiva de áreas adequadas de acordo com o intervalo da espécie (*Sicarius cariri*) ao longo dos anos estudados.

Dados do IPCCb (2022, tradução nossa) mostram que em ecossistemas terrestres e marinhos estes eventos tem levado a mortalidade em massa de espécies como “morcegos frugívoros, peixes de água doce, corais tropicais, algas, ervas marinhas e manguezais bem como de espécies selvagens”. Esse desequilíbrio ambiental é decorrente dos efeitos das mudanças climáticas, dentre os quais se destacam principalmente as alterações da biodiversidade local, onde a mesma pode torna-se “homogeneizada em habitats que recebem espécies imigrantes, pois em muitas das vezes elas modificam as cadeias alimentares e provocam um desequilíbrio ecossistêmico podendo ocasionar a expulsão de espécies nativas da área”.

Além disso, o IPCCb (2022), tradução nossa) aborda que a adaptação a área colonizada possibilita “Mudanças fenológicas aumentando os riscos de desajustes temporais entre os níveis tróficos dentro de ecossistemas, o que pode levar à redução da disponibilidade de alimentos e abundância da população e pode desestabilizar ainda mais a resiliência do ecossistema”.

Esse cenário torna-se cada vez mais preocupante, a medida que alterações extremas ocorrem. Os resultados do relatório do IPCCb (2022) relatam a existência de eventos climáticos que apresentaram temperaturas médias igualáveis a estimada para 2100, tendo como consequências já registradas o aumento na frequência e duração de “incêndios florestais além da seca”. Juntamente com o aumento das “pressões humanas muitos habitats extrapolaram a sua capacidade regenerativa, sendo este um cenário irreversível”.

As mudanças previstas para a distribuição de *Sicarius cariri* podem ser observadas na figura 11. No gráfico, (a cor rosa representa a ausência da espécie, o roxo representa a presença,

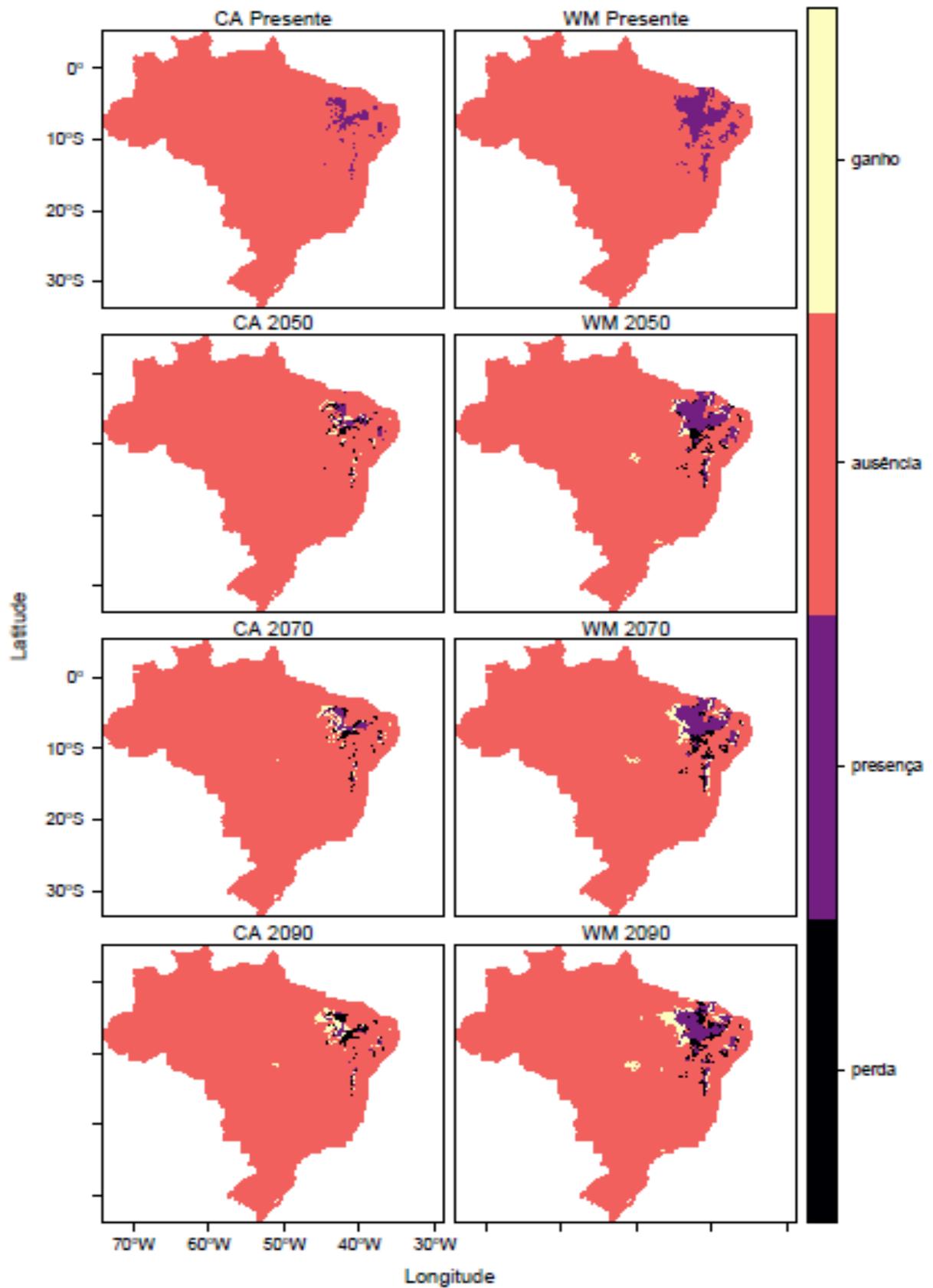
o amarelo claro as áreas onde a espécie ganha adequabilidade e o preto as áreas onde a espécie perde adequabilidade de habitat)

Nas projeções de 2050 é verificado que o percentual de ganho de áreas adequadas é inferior ao percentual de perdas tanto para Ca como para Wm. Ao analisar o gráfico é verificado uma faixa de perda expressiva de adequabilidade aparentemente entre a divisa sudoeste do Piauí e divisa do vale São Francisco da Bahia se estendendo até a divisa sudeste piauiense e sudoeste pernambucano. Além disso, é verificado um aglomerado de perdas no Norte maranhense e Centro sul baiano. Dessa forma, essas modificações geográficas na adequabilidade sugerem que essas áreas que apresentam perdas possam ter passado por modificações de origem climática, que desencadearam aquecimento e diminuição da precipitação tornando essas áreas com temperaturas mais elevadas e inadequadas para a presença da espécie. Por outro, lado notamos o ganho de habitat em alguns pontos como no Sul da Bahia e Norte maranhense.

Ao analisar as projeções de 2070 verificamos que o percentual de perdas é maior que o percentual de ganhos, isso para os conjuntos de modelos Ca (mais preciso). Como visualizado no gráfico (figura 11) as áreas de ganhos estão localizadas principalmente no norte e leste maranhense, sul baiano e aparentemente em um bloco de área adequada localizado na mesorregião ocidental do estado de Tocantins. Por outro, lado as áreas de perdas permanecem localizadas aparentemente nas mesmas áreas que perderam adequabilidade em 2050, apresentando um leve aumento no Centro-Norte piauiense.

Referente a análise das projeções para 2090 é observado um forte aumento de perdas de adequabilidade comparado as projeções de 2050 e 2070 (para os mapas de Ca). As perdas de adequabilidade são aparentemente localizadas nas mesorregiões do norte do Maranhão, Sudeste piauiense e Sul cearense. Por outro lado, ganhos de adequabilidade para a presença de *Sicarius cariri* são observados no leste-maranhense, centro norte e sudoeste piauiense, más com menos intensidade. Esse ganho em adequabilidade não significa necessariamente que áreas inadequadas em 2050 e 2070, retornaram a ser adequadas em 2090, mas que, novas áreas ganharam adequabilidade conforme as variações do clima.

Figura 11- Gráfico demonstrativo das mudanças de intervalo previstas para *Sicarius cariri* entre as e condições presentes e futuras.



Fonte: autor

Como verificado no mapa a distribuição de *Sicarius cariri* se concentra principalmente no semiárido brasileiro (condições atuais e futuras), onde o principal tipo de Bioma é a Caatinga. A Caatinga é um Bioma exclusivo do Brasil, constituída por arbustos espinhosos e florestas sazonalmente secas que recobrem uma área total de 734.478km², (representando 10,1%) sobre estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Maranhão e também a faixa norte de Minas Gerais (IBGE, 2019; LEAL et al., 2005; SILVA et al., 2004). A Caatinga em sua composição, apresenta estruturas geológicas (rochas de origem cristalina e sedimentar) e topografia, que resultam na existência de solos, que em sua complexidade apresentam características variadas. Os solos na Cantiga são rasos ou pedregosos, com níveis de fertilidade que variam (alto a baixo) sobre estruturas argilosas e arenosas (AC, 2021; VELLOSO; SAMPAIO; PAREYN, 2001; SOUSA, 2021).

Devido à grande variedade de solos, pode-se encontrar vegetação tanto de folhas pequenas e espinhosas com troncos retorcidos, como também, plantas suculentas e ervas terofíticas. Os níveis de precipitação que variam de 300 (precipitação mínima) a 1000 milímetros (precipitação máxima) ao ano, intercalados entre período seco e chuvoso e mudanças no clima fizeram com que este Bioma estabelecesse uma ampla diversidade de espécies de forma diferente e peculiar para essa área (QUEIROZ et al., 2017).

O Bioma Caatinga apresenta uma rica variedade de paisagens, com uma gama de espécies (fauna e flora) adaptadas ao clima semiárido e que em grande parte só ocorrem nessa área. Conforme dados do IBGEb (2021), grande parte desse Bioma apresenta-se alterado pela ação humana em sua composição original representando uma perda total de 36%, devido ao desmatamento e queimadas principalmente para a pastagem e agricultura. Em conjunto com esse cenário acrescenta-se um aumento na frequência e na severidade de condições de secas no Nordeste brasileiro, em resposta as alterações climáticas (ALBURQUERQUE; MELO, 2018).

Com base no IPCC (2019) Estima-se que globalmente 23% dos gases de efeito estufa (2007-2016) derivam da agricultura, Silvicultura e outros usos do solo. Isso como resultado da demanda por alimento e rendimentos crescentes, gerando uma produção de alimentos que aumentou cerca de 240% entre o intervalo dos anos de 1961-2017. Como consequência da liberação dos gases de efeito estufa através dessa atividade e outra mais, há o aumento do clima global que tem se intensificado, ocasionando desertificação e degradação do solo afetando diretamente as espécies (fauna e flora) que habitam determinada área em atividade.

De acordo com o Relatório da SEEG (2021) o Brasil obteve um aumento bruto de liberação de gases de efeito estufa de 9,5% em 2020, sendo este o maior índice desde 2006. Na agropecuária foi liberado cerca de 577 milhões de tonelada de CO₂ (aumento em comparação

ao ano de 2019 com cerca 562, 9milhoes), no setor energético totalizou 393,7 milhões de toneladas de Co2 emitidos (queda de 4,6 em comparação a 2019), com relação ao PIUP (Processos industriais e uso de produtos) foi emitido 100 milhões de toneladas de Co2 (manteve-se na média dos últimos dez anos) e para o tratamento de resíduos ocorreram a emissão de 92 milhões de toneladas em 2020 (leve aumento de 1,8% comparado a 2019).

Ainda, com base no Relatório da SEEG (2021), a respeito das mudanças no uso da terra verificou-se uma emissão de 998 milhões de toneladas de Co2 em 2020, sendo este setor o de maior fonte de emissão bruta de gases de efeitos estufa, representando 46% do total nacional. Para esse cenário se destaca em primeiro lugar o desmatamento do Bioma da Amazônia (emissão bruta em 2020 de 48,4% de 782 Mtco2), onde a maior parte permanece em áreas nativas (61%). Em sequência, o segundo colocado é o Cerrado (113,4 MtCO2), em terceiro a Mata atlântica (83,2 Mtco2), seguida da Caatinga (9,6Mtco2), Pampa (5,5 Mt Co2) e Pantanal (3,1 Mtco2). Em contraste com as porcentagens de liberação de gases de efeito estufa, existe ao mesmo tempo as poucas áreas protegidas criadas, como resultado disso há uma tendência no aumento dessas emissões.

Os níveis de riscos associados as mudanças climáticas dependem muito dos índices de aquecimento global e de como a gestão das populações evoluem ao longo do tempo, isso referente as questões de consumo, produção em grande escala e aperfeiçoamento das tecnologias que resultam em muitos riscos, em especial nas regiões de clima semiárido podendo sofrer com a escassez de água e degradação ambiental (IPCC, 2019).

Vale destacar que um dos principais efeitos das mudanças climáticas sobre a humanidade é insegurança alimentar, sendo este um problema crítico da atualidade que atinge principalmente as áreas de “baixas e médias latitudes como África Subsaariana, Ásia, Ilha Pequena, América Central e do Sul e Ártico”. Resultados do aumento da temperatura em conjunto com a humidade tem gerado um ambiente apropriado para a proliferação de fungos toxigênicos que atingem muitas culturas de alimentos, “Alem de algas nocivas transmitidas através da água” que colocam em risco a qualidade do alimento consequentemente resultando na insegurança alimentar que afeta diretamente a economia desses locais que em muitos dos casos é subdesenvolvida (IPCCb, 2022, tradução nossa).

Conforme o IPCCb (2022, tradução nossa) a escasses de água assim como a inseguranças alimentar é outra consequência das mudanças no clima e é enfrentada por quase metade da população mundial atingindo os grupos mais vulneráveis como “mulheres, idosos e crianças em situações precárias, alem de comunidades pesqueira e povos indigenas”. Este quadro é resultado não só das mudanças do clima como também da má administração e uso da

água, que além de ocasionar a escassez deste recurso hídrico impacta outros setores da sociedade na produção de “energia, agricultura, intensificação na proliferação de doenças entre outras”. Dessa forma, os danos causados pelo aquecimento global afetam tanto a biodiversidade de espécies (fauna e flora), como também a própria humanidade (IPCCb, 2022, tradução nossa).

Assim como *Sicarius cariri*, outras espécies endêmicas da Caatinga podem perder área de adequabilidade futuramente e até serem colocadas em riscos de extinção. Diante disso, vale ressaltar a importância de estudos de modelagem de espécies para entender como as interferências do clima ao longo dos anos pode interferir sobre determinado indivíduo e com isso serem tomadas as medidas necessárias de gestão adequada para a prevenção tanto de áreas ambientais como da biodiversidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados observados, o estudo de modelagem de adequabilidade de nicho da espécie *Sicarius cariri*, em projeções atuais e futuras permitiu as seguintes conclusões:

a) As variáveis bioclimáticas mais influentes para a distribuição de *Sicarius cariri*, foram bio2, bio4, bio7, bio15 e altitude, entre elas as mais importantes são bio4, bio7 (possuem a maior média de importância sobre os modelos utilizados nas análises e conseqüentemente sobre a distribuição da espécie).

b) Entre todos os conjuntos de modelos utilizados (algoritmos, pseudo-ausências, validações cruzadas) foram destacados como mais eficientes em precisão: RF, PA3 e RUN3.

c) Por meio da modelagem de adequabilidade de nicho, verificou-se que apesar de mudanças geográficas de áreas adequadas, os pontos potencialmente mais favoráveis para habitação da espécie *Sicarius cariri* se localiza no Nordeste, em especial no semiárido brasileiro tanto nas condições atuais como futuras. Além disso, pequenos pontos de adequabilidade também foram observados aparentemente no Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul (áreas menos extensas), devido à presença de enclaves de floresta seca sobre o Cerrado.

d) Alterações climáticas provocam uma redução de áreas adequadas para a habitação da espécie *Sicarius cariri*, em 50 % em 2050, 53,7 % em 2070 e quase 71% em 2100.

Portanto, com a realização do presente estudo, foi possível entender como as mudanças climáticas podem influenciar sobre a disposição espacial de *Sicarius cariri* e conseqüentemente como esses indivíduos respondem frente a essas mudanças. Dessa forma, estudos de modelagem de nicho tornam-se cruciais para além de permitir uma visualização da interação entre condição ambiental e espécie, possibilitar o planejamento de ações conservacionistas.

REFERÊNCIAS

- AC – ASSOCIAÇÃO DA CAATINGA. **Sobre a Caatinga**. 2022. Disponível em:<<https://www.acaatinga.org.br/#>> acesso em: 10 de junho de 2022.
- ALBUQUERQUE, U, P; MELO, F, PL. Socioecologia da Caatinga. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 40-44, 2018.
- ALMEIDA, M, Q. et al. Muito tempo sem ver: Expansão dos registros de *Loxosceles amazonica* (Araneae: Sicariidae) para o estado do Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 47, p. 163-166, 2017.
- ALLOUCHE, O; TSOAR, A; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of applied ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223-1232, 2006.
- ANGULO-CASTAÑEDA, N, Y; CASTAÑO-ARIAS, P, A. Loxoscelismo cutâneo: paciente con múltiples picaduras y con contraindicación para sulfas. Reporte de un caso. **Iatreia**, v. 31, n. 1, p. 86-92, 2018
- ARÁN-SEKUL, T et al. Heterophilic antibodies in sera from individuals without loxoscelism cross-react with phospholipase D from the venom of *Loxosceles* and *Sicarius* spiders. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases**, v. 24, 2018.
- ASSAD, E, D et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 1057-1064, 2004.
- AZEVEDO, Raul. et al. Aranhas epígeas de um fragmento de mata em área urbana em Fortaleza, Ceará, Brasil. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 1, n. 2, 2017.
- AZIZ, N.; BUTT, A.; ELSHEIKHA, H, M. Assessment of bioaccumulation of Cu and Pb in experimentally exposed spiders, *Lycosa terrestris* and *Pardosa birmanica*, using different exposure routes. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 3, p. 3309-3319, 2020.
- BARBOSA, F, R. et al. Artrópodes-praga e predadores (Arthropoda) associados à cultura da mangueira no Vale do São Francisco, Nordeste do Brasil. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 471-474, 2005.
- BARVE, Narayani et al. The crucial role of the accessible area in ecological niche modeling and species distribution modeling. **Ecological modelling**, v. 222, n. 11, p. 1810-1819, 2011.
- BINFORD, G. J. et al. Phylogenetic relationships of *Loxosceles* and *Sicarius* spiders are consistent with Western Gondwanan vicariance. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 49, n. 2, p. 538-553, 2008.
- BONALDO, A, B. et al. A araneofauna (Arachnida, Araneae) da Reserva Florestal Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. **A Fauna de Artrópodes da Reserva Florestal Ducke. Estado atual do conhecimento taxonômico e biológico**, v. 1, p. 201-222, 2009.

BRASIL. DECRETO Nº - 4.074, DE 4 DE JANEIRO DE 2002. Regulamenta a Lei no - 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 1, p. 1-104, 4 jan. 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretária da Convenção sobre Biodiversidade Biológica – CDB. **O panorama da biodiversidade global 3**. Brasília, 2010.

BREIMAN, Leo. Bagging predictors. **Machine learning**, v. 24, n. 2, p. 123-140, 1996.

BRESCOVIT, A, D.; OLIVEIRA, U.; SANTOS, A, J. Aranhas (Araneae, Arachnida) do Estado de São Paulo, Brasil: diversidade, esforço amostral e estado do conhecimento. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 717-747, 2011.

BUTT, A; TALIB, R; KHAN, M X. Effects of insecticides on the functional response of spider *Oxyopes javanus* against aphid *Sitobion avenae*. **Int. J. Agric. Biol**, v. 22, p. 503-509, 2019.

CODDINGTON, J, A.; LEVI, H, W. Systematics and evolution of spiders (Araneae). **Annual review of ecology and systematics**, v. 22, n. 1, p. 565-592, 1991.

CODDINGTON, J. A. Phylogeny and classification of spiders, p. 18-24. *In*: D. Ubick, P. Paquin, P.E. Cushing & V. Roth (Eds.) **Spiders of North America: an identification manual**. New York, American Arachnological Society. 377 p. 2005.

CONCEIÇÃO, G, M, de S; SALDIVA, P, H, N; SINGER, J, da M. Modelos MLG e MAG para análise da associação entre poluição atmosférica e marcadores de morbi-mortalidade: uma introdução baseada em dados da cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 4, p. 206-219, 2001.

CUNHA, J, J, A, S. et al. Diversidade preliminar de aranhas de solo em áreas de Cerrado Litorâneo com diferentes níveis de conservação, Maranhão, Brasil. **Revista Biociências**, v. 18, n. 1, 2012.

DUNCAN, R, P.; AUTUMN, K; BINFORD, G, J. Convergent setal morphology in sand-covering spiders suggests a design principle for particle capture. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1629, p. 3049-3057, 2007.

EMBRAPA. **Controle biológico**. Disponível em:<<https://www.embrapa.br/tema-controle-biologico/sobre-o-tema>>acesso em 01 de junho de 2022.

FRIEDMAN, Jerome H. Greedy function approximation: a gradient boosting machine. **Annals of statistics**, p. 1189-1232, 2001.

FIGUEIRÓ, A, S. **Biogeografia: dinâmicas e transformação da natureza**. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

FLEURY, L, C; MIGUEL, J, C, H; TADDEI, R. Mudanças climáticas, ciência e sociedade. **Sociologias**, v. 21, p. 18-42, 2019.

GAUDIO, A. C.; ZANDONADE, E. Proposição. Validação e Análise dos Modelos que Correlacionam Estrutura Química e Atividade Biológica. **Quim. Nova**, v. 24, n. 5, p. 658-671, 2001.

GBIF -The Global Biodiversity Information Facility (2021) **O que é o GBIF?**. Disponível em: <<https://www.gbif.org/what-is-gbif>> Acesso em 05 de nov. de 2021.

GERALDINO, C, F, G; VITTE, A, C. O papel do isolamento geográfico e da migração dos organismos na especiação: o caso da crítica de Moritz Wagner a Charles Darwin. **Terræ Didactica**, v. 12, n. 3, p. 184-195, 2017.

GERTSCH, W, J. The spider genus *Loxosceles* in South America (Araneae, Scytodidae). *Bulletin of the AMNH*; v. 136, article 3. 1967.

GIANNINI, T, C. et al. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguésia**, v. 63, p. 733-749, 2012.

GONZAGA, M, O. et al. Ecologia e comportamento de aranhas. In: Vasconcelos, H, L(organização). **Ecologia e conservação dos cerrados, campos e florestas do Triângulo Mineiro e Sudeste de Goiás**. Uberlândia: Regência e Arte, 2020.

GUISAN, A; THUILLER, W; ZIMMERMANN, N, E. **Habitat suitability and distribution models: with applications in R**. Cambridge University Press, 2017.

GUISAN, A; THUILLER, W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. **Ecology letters**, v. 8, n. 9, p. 993-1009, 2005.

HANLEY, J, A. et al. Receiver operating characteristic (ROC) methodology: the state of the art. **Crit Rev Diagn Imaging**, v. 29, n. 3, p. 307-335, 1989.

HANSSON, S, V. et al. Spiders as biomonitors of metal pollution at Arctic mine sites: The case of the Black Angel Pb-Zn-mine, Maarmorilik, West Greenland. **Ecological Indicators**, v. 106, p. 105489, 2019.

HASTIE, T; TIBSHIRANI, R. Generalized Additive Models, **Statistical Science**, Vol. 1, No 3, 297-318, 1986.

HOO, Z H; CANDLISH, J; TEARE, D. What is an ROC curve?. 2017.

HUTCHINSON, G. E. Cold spring harbor symposium on quantitative biology. **Concluding remarks**, v. 22, p. 415-427, 1957.

IBGEa – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido brasileiro**. 2018. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=sobre>> Acesso em: 09 de no. De 2021.

IBGEb – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass brasileiros**. 2021. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomass-brasileiros.html>>. Acesso em 19 de nov, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000** / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p.

IBS – INTERNATIONAL BIOGEOGRAPHY SOCIETY. **About the society**. 2020. Disponível em:< <https://www.biogeography.org/about-us/>> Acesso em: 05 de out. de 2021.

IPCCa – Intergovernmental Panel on Climate Change. **About the IPCC**. 2022. Disponível em:< <https://www.ipcc.ch/about/>> acesso em 15 de maio de 2022.

IPCC–INTERGOVERNAMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE.

Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019. Disponível em:< https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4.-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf> acesso em: 19 de nov, 2021.

IPCCb–INTERGOVERNAMENTAL PAINEL ON CLIMATE CHANGE. Technical summary. Six Assessment Report - **AR6 Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/> acesso em: 15 de maio de 2022.

JUSTA, H, C et al. LALLT (Loxosceles Allergen-Like Toxin) from the venom of *Loxosceles intermedia*: Recombinant expression in insect cells and characterization as a molecule with allergenic properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 3984-3999, 2020.

LEAL, Inara R. et al. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005

LIMA, J, S et al. Diversidade de aranhas em área remanescente de Mata Atlântica, na vila Bananeira, zona rural de Arapiraca, agreste Alagoano. **Revista Ambientale**, v. 11, n. 2, p. 74-85, 2019.

MAGALHAES, I. L. F. et al. Phylogeny of Neotropical *Sicarius* sand spiders suggests frequent transitions from deserts to dry forests despite antique, broad-scale niche conservatism. **Molecular phylogenetics and evolution**, v. 140, p. 106569, 2019.

MAGALHAES, I. LF et al. Strong spatial structure, Pliocene diversification and cryptic diversity in the Neotropical dry forest spider *Sicarius cariri*. **Molecular Ecology**, v. 23, n. 21, p. 5323-5336, 2014.

MAGALHAES, I. LF; BRESOVIT, A, D.; SANTOS, A, J. The six-eyed sand spiders of the genus *Sicarius* (Araneae: Haplogynae: Sicariidae) from the Brazilian Caatinga. **Zootaxa**, v. 3599, n. 2, p. 101-135, 2013.

MAGALHAES, I, LF; BRESCOVIT, A, D.; SANTOS, A, J. Phylogeny of Sicariidae spiders (Araneae: Haplogynae), with a monograph on Neotropical Sicarius. **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 179, n. 4, p. 767-864, 2017.

MALONEY, Darlene; DRUMMOND, Francis A.; ALFORD, Randy. Spider predation in agroecosystems. 2003.

MARTINE, G.; ALVES, J, E, D. Economia, sociedade e meio ambiente no século 21: tripé ou trilema da sustentabilidade?. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, p. 433-460, 2015.

METZ, Charles E. ROC methodology in radiologic imaging. **Investigative radiology**, v. 21, n. 9, p. 720-733, 1986.

MORAES, R. R.; LOECK, A. E.; BELARMINO, L. C. Inimigos naturais de *Rachiplusia* nu (Guenée, 1852) e de *Pseudoplusia includens* (Walker, 1857) (Lepidoptera: Noctuidae) em soja no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, n. 1, p. 57-64, jan. 1991.

MARENGO, J, A. Água e mudanças climáticas. **Estudos avançados**, v. 22, p. 83-96, 2008.

MINISTÉRIO DA SAÚDE / FUNASA (Fundação Nacional de Saúde). Manual de Diagnóstico e Tratamento de Acidentes por Animais Peçonhentos. Brasília: MS/FUNASA MS (Ministério da Saúde) / FUNASA (Fundação Nacional de Saúde), 2001.

NOGUEIRA, A, A et al. Diversidade de aranhas (arachnida-Araneae) em um gradiente altitudinal na amazônia. seriam os padrões congruentes com o esperado pelo efeito do dominio central e pelo efeito rapoport?. **Biota Neotropica**, v. 21, 2021.

PATUCCI, N, N. et al. Bioindicadores Edáficos de Fragmentos Florestais Urbanos da Cidade de São Paulo (SP). **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 77-90, 2018. PATTTU

PEREIRA, M.; PIRES, V, M. Levantamento da araneofauna associada à cultura da uva (*Vitis* Spp.) No município de são roque e o estudo da viabilidade do uso desses animais no controle biológico de pragas na videira. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 51424-51443, 2020.

PHILLIPS, Steven J.; ANDERSON, Robert P.; SCHAPIRE, Robert E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.

PLATNICK, N.; GERTSCH, W, J. The suborders of spiders: a cladistic analysis (Arachnida, Araneae). **American Museum novitates**; n°. 2607. 1976.

PODGAISKI, L, R.; RODRIGUES, G, G. A spider community responds to the complexity of the litter: perceptions of a small-scale experiment in an exotic pine tent. *Iheringia. Zoology Series*, Porto Alegre.v.107, 2017.

POLO, T, C, F; MIOT, H, A. Aplicações da curva ROC em estudos clínicos e experimentais. **J Vasc Bras**, 2020.

PUGA, J, R, L. et al. Influência da utilização de uma cobertura orgânica no restabelecimento a médio-longo prazo das comunidades de invertebrados do solo em áreas áridas de eucalipto. **Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos**, v. 7, n. 1, p. 26-38, 2018.

QUEIROZ, L, P et al. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga domain. In: **Caatinga**. Springer, Cham, 2017. p. 23-63.

RADKOVA, M. et al. Biodiversity of Epigeic Spiders in Conventional Potato Fields in South-western Bulgaria (Ten Years Later). **Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences**, v. 72, n. 8, 2019.

REISKIND, J. Stereotyped burying behavior in Sicarius. **American Zoologist**, v. 9, n. 1, p. 195-200, 1969.

RIECHERT, Susan E.; LOCKLEY, Tim. Spiders as biological control agents. **Annual review of entomology**, v. 29, p. 299-320, 1984.

RODRIGUES, E, NL; MENDONÇA JR, M, S.; OTT, R. Fauna de aranhas (Arachnida, Araneae) em diferentes estágios do cultivo do arroz irrigado em Cachoeirinha, RS, Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 98, p. 362-371, 2008.

ROSA, M, G da et al. Diversidade de aranhas edáficas em sistemas de uso e manejo do solo em Santa Catarina, Brasil. **Biota Neotropica**, v. 19, n. 2, 2019.

ROSAS-RAMOS, N. et al. Farming system shapes traits and composition of spider assemblages in Mediterranean cherry orchards. **PeerJ**, v. 8, p. e8856, 2020.

ROVEDDER, A, P, M. et al. Organismos edáficos como bioindicadores da recuperação de solos degradados por arenização no Bioma Pampa. **Ciência Rural**, v. 39, n. 4, p. 1051-1058, 2009.

SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa. **Análise das emissões brasileiras de e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970 – 2020**. 2021. Disponível em: < https://seeg-br.s3.amazonaws.com/Documentos%20Analiticos/SEEG_9/OC_03_relatorio_2021_FINAL.pdf> Acesso em: 20 de nov. 2021.

SCHRODER, T.; LUIZ, T. B. P. Modelos chuva-vazão: uso de técnicas de aprendizagem de máquinas para calibração de modelos em uma pequena bacia hidrográfica. [S.l]: **Geoambiente On-line**, n. 37, 2020.

SILVA, J. M. C. et al. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004.

SILVA, D, C. et al. Fauna edáfica como indicadora de qualidade do solo em fragmentos florestais e área sob cultivo do cafeeiro/Edaphic fauna as a soil quality indicator in forest fragments and coffee growing area. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 14795-14816, 2020.

SILVA, L,V; P, PAULA RIBEIRO, A, L; LÚCIO, A, D’C. Diversidade de aranhas de solo em cultivos de milho (*Zea mays*). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 4, p. 2395-2404, 2014.

SILVA, M, V et al. Emprego da exsanguíneotransusão em acidente loxoscélico humano, grave. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 30, p. 259-263, 1988.

SOBERÓN, J; PETERSON, A. Townsend. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species’ distributional areas. **Biodiversity Informatics**, v 2, pp 1-10, 2005.

SOUSA, A, R. Patrimônio natural de São João da Canabrava, Piauí: história natural e fitossociologia. Dissertação (Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal do Piauí-UFPI. Teresina, p. 85, 2021.

SPECIES LINK. **BUSCA**. 2022. Disponível em:< <https://specieslink.net/search/>> acesso em: 20 de out de 2021.

SUDENE – SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do semiárido**. 2017. Disponível em: < <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>> Acesso em 09 de nov. de 2021.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. Ecorregiões: Propostas para o bioma Caatinga. Resultados do Seminário de Planejamento Ecorregional da Caatinga/Aldeia-PE. **Associação Plantas do Nordeste e Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil**, Recife, 2002

WIENS, John J. Speciation and ecology revisited: phylogenetic niche conservatism and the origin of species. **Evolution**, v. 58, n. 1, p. 193-197, 2004

WOODWARD, F. I; KELLY, C. K. Why are species not more widely distributed? Physiological and environmental limits. In Blackburn, T. M. and Gaston, K. J.(eds), **Macroecology**. Oxford, UK: Blackwell, 2003.

WORDCLIM – GLOBAL CLIMATE AND WEATHER DATA. 2020. Disponível em:< <https://www.worldclim.org/data/index.html>>. Acesso em: 10 de set. de 2021.

World Spider Catalog (2022). World Spider Catalog. **Version 23.0**. Natural History Museum Bern. Disponível em: <<http://wsc.nmbe.ch/statistics>> Acesso em: 16. Mar, 2022.

ZOBEL-THROPP, P, A; BODNER, M, R; BINFORD, G, J. Análises comparativas de venenos de aranhas americanas e africanas Sicarius que diferem na atividade da esfingomielinase D. **Toxicon**, v. 55, n. 7, pág. 1274-1282, 2010.

APENDICE

Tabela 7. Média da importância das variáveis bioclimáticas por conjuntos de pseudo-ausência e conjunto de validações cruzadas (possibilidades de cruzamentos A)

RUN1, PA1	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.479	0.029	0.116	0.645	0.033
bio4	0.875	0.751	0.382	0.826	0.744
bio7	0.685	0.462	0.348	0.851	0.345
bio15	0.532	0.020	0.164	0.714	0.000
alt	0.288	0.139	0.086	0.601	0.071
RUN2, PA1	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.358	0.017	0.111	0.636	0.291
bio3	0.574	0.229	0.237	0.869	0.669
bio4	0.675	0.425	0.254	0.839	0.475
bio15	0.561	0.251	0.249	0.674	0.001
Alt	0.308	0.136	0.066	0.461	0.024
RUN3, PA1	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.792	0.016	0.133	0.570	0.220
bio4	0.950	0.221	0.285	0.631	0.431
bio7	0.682	0.419	0.304	0.715	0.587
bio15	0.664	0.504	0.330	0.556	0.132
alt	0.159	0.123	0.103	0.276	0.028
RUN4, PA1	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.592	0.017	0.137	0.531	0.193
bio4	0.659	0.292	0.317	0.746	0.451
bio7	0.779	0.497	0.423	0.821	0.735
bio15	0.155	0.268	0.255	0.448	0.035
alt	0.315	0.132	0.082	0.313	0.012
RUN1, PA2	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.293	0.010	0.152	0.611	0.196
bio4	0.815	0.272	0.262	0.699	0.570
bio7	0.726	0.420	0.330	0.774	0.592
bio15	0.577	0.449	0.323	0.554	0.084
alt	0.084	0.142	0.116	0.183	0.006
RUN2, PA2	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.674	0.004	0.118	0.557	0.247
bio4	0.853	0.239	0.265	0.767	0.431
bio7	0.767	0.391	0.380	0.831	0.637
Bio15	0.681	0.614	0.376	0.379	0.143
alt	0.200	0.144	0.100	0.336	0.063

Fonte: autor

Tabela 8. Média da importância das variáveis bioclimáticas por conjuntos de pseudo-ausência e conjunto de validações cruzadas (possibilidades de cruzamentos B)

RUN3, PA2	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.586	0.014	0.123	0.512	0.206
bio4	0.632	0.228	0.273	0.690	0.519
bio7	0.762	0.457	0.451	0.794	0.664
bio15	0.567	0.469	0.261	0.548	0.067
alt	0.311	0.137	0.203	0.213	0.059
RUN4, PA2	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.773	0.012	0.122	0.683	0.313
bio4	0.920	0.102	0.259	0.685	0.554
bio7	0.702	0.380	0.346	0.735	0.619
bio15	0.731	0.692	0.450	0.588	0.136
alt	0.224	0.285	0.145	0.163	0.053
RUN1, PA3	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.648	0.032	0.137	0.483	0.219
bio4	0.874	0.345	0.325	0.766	0.540
bio7	0.601	0.415	0.400	0.805	0.664
bio15	0.548	0.248	0.176	0.594	0.009
Alt	0.190	0.108	0.087	0.168	0.009
RUN2, PA3	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.357	0.040	0.157	0.537	0.332
bio4	0.748	0.215	0.222	0.757	0.377
bio7	0.781	0.427	0.388	0.738	0.695
bio15	0.431	0.398	0.224	0.585	0.030
alt	0.182	0.127	0.114	0.265	0.072
RUN4, PA3	GLM	GBM	RF	GAM	MAXENT
bio2	0.773	0.038	0.097	0.453	0.032
bio4	0.891	0.341	0.310	0.760	0.601
bio7	0.719	0.371	0.418	0.638	0.337
bio15	0.585	0.285	0.220	0.463	0.048
alt	0.179	0.118	0.099	0.118	0.092

Fonte: autor