

INSTITUTO FEDERAL GOIANO, CAMPUS URUTAÍ - GO
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

**DISTRIBUIÇÃO PREDITIVA ATUAL E FUTURA DA ESPÉCIE INVASORA *Agave*
sisalana PERR. EX. ENGELM NA AMÉRICA DO SUL**

ALUNA: ADRIELLE DE SOUZA SANTOS
ORIENTADOR: DANIEL PAIVA SILVA

Urutaí, GO
2021

ADRIELLE DE SOUZA SANTOS

**DISTRIBUIÇÃO PREDITIVA ATUAL E FUTURA DA ESPÉCIE INVASORA *Agave
sisalana* PERR. EX. ENGELM NA AMÉRICA DO SUL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí como parte dos requisitos para conclusão do curso de graduação em Licenciatura em Ciências Biológicas sob orientação do Prof. Dr. Daniel de Paiva Silva.

Urutaí, GO

2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

d237d de Souza Santos, Adrielle
Distribuição preditiva atual e futura da espécie
invasora *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América
do Sul / Adrielle de Souza Santos; orientador Daniel
de Paiva Silva. -- Urutaí, 2020.
29 p.

Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciências
Biológicas) -- Instituto Federal Goiano, Campus
Urutaí, 2020.

1. Modelagem . 2. Plantas invasoras. 3. Mudanças
climáticas. 4. Perda de biodiversidade. 5. Sisal. I.
de Paiva Silva, Daniel, orient. II. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Adrielle de Souza Santos

Matrícula: 2017101220530125

Título do Trabalho: Distribuição preditiva atual e futura da espécie invasora *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: __/__/__

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutaí, 18/03/2021.
Local Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



Assinatura do(a) orientador(a)

ATA DE APRESENTAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Às 14h horas do dia 16 de março de 2021, reuniu-se

() Presencialmente na sala nº _____ do Prédio _____ do

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí

(x) Por vídeo conferência

a Banca Examinadora do Trabalho de Curso intitulado “Distribuição Preditiva Atual e Futura da espécie invasora *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul” composta pelos professores:

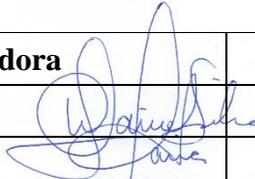
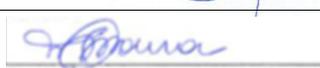
1 Daniel de Paiva Silva

2 Luiza Gabriela Fulgência de Lima

3 Tânia Maria de Moura

4 (suplente, quando necessário)

para a sessão de defesa pública do citado trabalho, requisito parcial para a obtenção do Grau de **Licenciado em Ciências Biológicas**. O Presidente da Banca Examinadora, Prof. Daniel de Paiva Silva, passou a palavra ao licenciando(a) Adrielle de Souza Santos para apresentação dese trabalho. Seguiu-se a arguição pelos membros da Banca Examinadora e respectiva defesa da licencianda. Logo após a Banca Examinadora se reuniu, sem a presença do(a) licenciado(a) e do público, para expedição do resultado final. A Banca Examinadora considerou que o(a) discente foi **(X) APROVADO** / () **NÃO APROVADO** por unanimidade, tendo sido atribuído a nota (9,4) ao seu trabalho. O resultado foi então comunicado publicamente ao(a) licenciando(a) pelo Presidente da Banca Examinadora. Nada mais havendo a tratar, o Presidente da Banca Examinadora deu por encerrada a defesa.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora	Notas
1. Daniel de Paiva Silva 	9,0
2. Luiza Gabriela Fulgência de Lima 	9,5
3. Tânia Maria de Moura 	9,7
Média final:	9,4

Urutaí-GO, 16 de março de 2021.

Dedico a família Santos.
Meu sangue, essência e
maior exemplo.

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus e a Santíssima Virgem Maria, pela vida, força, presença e graça, que me acompanham até aqui. Sem dúvida é o melhor de mim. Agradeço a minha família, que me cobrem de amor e cuidado e são a base disso tudo. Meus pais, Osmerinda Santos e Edison Santos, pelos incansáveis esforços para que eu pudesse não só ter uma formação de qualidade, mas tudo do melhor que têm para me oferecer. À minha irmã Grazielle Santos (Ieie ou @grazi_inspira), minha pessoa preferida no mundo, por todo cuidado e zelo, desde os dias mais remotos da minha vida. Meus avós, destacando a participação do meu “vovô Wandico” em todo o processo. É um privilégio tê-los como os meus. Agradeço aos meninos, Amanda, Veida, Gustavinho e Wiler, por serem tanto. Amparo, alegria e companheirismo em todos os momentos. Ao meu grupo de oração Jovens Renovados em Cristo, por ser motivo de aprendizado, paz e fervor na caminhada. Minha sincera gratidão a Iury César, amigo e amor. Meu maior puxa saco, que não mediu esforços em me apoiar e ajudar em tudo que estava em seu alcance, além de especialmente, ser apoio emocional e afetivo.

Também agradeço a aqueles que caminharam lado a lado comigo, e contribuíram tanto. Aos veteranos Letícia de Maria, Luiza Fulgêncio, Carol Paixão, João Pedro, Thaís e de modo especial, Lucas Saavedra, companheiro de noites de estudo, papos cabeça, almoço, jantar, viagens e meu Googlo pessoal. Não posso deixar de agradecer a Daniele Alves, amiga coruja, São Paulina roxa, que em sua moto apelidada de “Catarina” deu nó em pingo d’água, para me ajudar, além de claro, todo apoio emocional, juntamente às amigas de dormitório “CTAE”, Mychelle, Nady e companheira de quarto Geise, pela cumplicidade e crises de riso até dar dor de cabeça. Minha enorme gratidão ao Programa de Educação Tutorial PET Bio e aos colegas de todas as gerações que se passaram durante minha permanência no programa, com quem convivi e pude aprender. Destaco aqui Maisa Lemes companheira de jornada desde o início e meu padrinho Marcelo Cardoso. É imensurável como amadureci com o programa e pude aperfeiçoar e desenvolver habilidades. Sou grata ao professor André Castro, que cumpre muito bem seu papel de Tutor, um exemplo de profissional, que desde o primeiro semestre contribuiu com uma infinidade de ensinamentos, gostaria de ressaltar três principais: a falta de tempo é relativa, faça tudo o melhor possível e imprevistos podem sim ser previstos. Agradeço ainda ao meu orientador, Daniel Paiva Silva, que apostou em mim e me apresentou a área da Biologia que a cada dia me atrai mais. Obrigada por sempre responder rápido no WhatsApp e por toda contribuição com minha caminhada acadêmica. Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta são parte da minha formação profissional e humana.

Nada estará perdido, enquanto estiver em busca.

-Santo Agostinho

Lista de ilustrações

Figura 1. Mapa indicando a distribuição espacial dos 32 pontos de ocorrências únicos registrados atualmente para a espécie vegetal invasora *Agave Sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul. 08

Figura 2. Mapa de previsão de áreas de adequabilidade presente x ensemble do futuro (2070) para *A. sisalana* confeccionado a partir dos modelos gerados pelos algoritmos BRT, GAM, GLM, MXS, RDF e SMV. Regiões com coloração próximas ao vermelho indicam área de alta adequabilidade para a ocorrência da espécie, enquanto que próximas ao azul, indicam baixa adequabilidade. Coloração cinza indica ausência da espécie..... 09

Figura 3. Mapa de previsão de adequabilidade presente x ensemble do futuro (2070) com mapas dos 17 modelos que configuram o ensemble do cenário Atmosfera-Oceano de emissões de gases do efeito estufa mais pessimista (RCP8.5). A) BCC-CSM1-1; B) CCSM4; C) CNRM-CM5; D) GFDL-CM3; E) GISS-E2-R; F) HadGEM2-AO; G) HadGEM2-ES; H) HadGEM2-CC; I) INMCM4; J) IPSL-CM5A-LR; K) MIROC5; L) MRICGCM3; M) MIROC-ESM-CHEM; N) MPI-ESM-LR; O) MIROC-ESM; P) NorESM1-M. Q) ACCESS1-0..... 10

Lista de tabelas

Tabela 1. Coordenadas geográficas para a espécie vegetal invasora *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul, obtidas em banco de dados online e literatura, após limpeza. Os 32 pontos únicos foram utilizados na confecção dos modelos de área de adequabilidade. 07

Lista de abreviaturas e siglas

AOGCMs - Modelos de Circulação Global Atmosfera-Oceano

ArcGIS- software de informações geográficas

BRT- Boosted Regression Trees

GAM - Generalized Additive Models

GLM - Generalized Linear Models

MXS - Maximum Entropy simple

PCA – Análise de Componentes Principais

R - Development Core Team

RCP8 - *Representative Carbon Pathway*

RDF - Random Forest

SVM - Support Vector Machine

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Materiais e Métodos.....	4
2.1. Determinação de ocorrências.....	4
2.2. Modelagem de distribuição.....	4
2.3. Validação dos modelos e confecção dos mapas.....	6
3. Resultados.....	6
4. Discussão.....	11
5. Conclusão.....	13
6. Referências.....	13

Distribuição preditiva atual e futura da espécie invasora *agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul

Resumo

Com o avanço da globalização, as mudanças ambientais são rápidas e intensas, com isso, a biodiversidade nativa tem sofrido com a perda de espécies. A invasão de plantas invasoras é uma das adversidades que geram impactos graves sobre ecossistemas, sendo que parte considerável se dá por espécies vegetais. Aliado a isso, as mudanças climáticas podem alterar e até favorecer a distribuição espacial de invasoras no futuro, uma vez que os problemas podem ser ainda maiores. A espécie vegetal *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm pertencente à família Agavaceae é nativa da Península de Yucatan, no México e está entre as plantas exóticas invasoras inseridas América do Sul. Sobretudo no Brasil, é alto seu potencial invasor, pois representa importante fonte de renda para região nordeste, onde há o comércio da fibra extraída das folhas. Dentre os impactos ambientais provocados, está a expulsão de nativas e alteração de habitat. Neste cenário, o presente trabalho visa compreender a distribuição presente e futura da *A. sisalana* na América do Sul, por meio da modelagem de distribuição, a fim de mensurar a vulnerabilidade da região de estudo e potencial invasor da espécie no que diz respeito a disseminação. Coordenadas geográficas que indicam a ocorrência de *A. sisalana* foram obtidas em bases de dados online e depois tratadas com a finalidade de manter a confiabilidade dos modelos. Foram consideradas 19 variáveis climáticas provenientes do *WordClim*. Os procedimentos foram realizados no software R e os modelos foram testados com partições de 70% para treino e 30% para teste. Foram utilizados 32 registros únicos para a espécie na América do Sul. O valor de Jaccard para os modelos foi 0,85 considerado bom, indicando que os modelos gerados são confiáveis. Os resultados indicaram um aumento de áreas adequadas para a ocorrência da invasora *A. sisalana* no futuro. Posto isso, acredita-se que o potencial invasor da espécie será maior, devido ao aumento da área de dispersão. Aliado a isso, a realidade presente não colabora com a diminuição das ameaças a biodiversidade do cenário exposto.

Palavras chave: Modelagem, Plantas invasoras, Mudanças climáticas, Perda de biodiversidade, Sisal

Current and future predictive distribution of the invasive *agave sisalana* Perr. Ex. Engelm specie in South America

Abstract

With the advancement of globalization, environmental changes are fast and intense, with this, the native biodiversity has suffered from the loss of species. The invasion of invasive plants is one of the adversities that generate serious impacts on ecosystems, and a considerable part is due to plant species. Allied to this, climate change can alter and even favor the spatial distribution of invaders in the future, since the problems can be even greater. The plant species *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm, belonging to the Agavaceae family is native to the Yucatan Peninsula, in Mexico and is among the invasive exotic plants inserted in South America. Especially in Brazil, its invasive potential is high, as it represents an important source of income for the region. northeast, where there is a trade in fiber extracted from the leaves. Among the environmental impacts caused, is the expulsion of natives and alteration of habitat. In this scenario, the present work aims to understand the present and future distribution of *A. sisalana* in South America, by means of distribution modeling, in order to measure the vulnerability of the study region and the potential invader of the species with regard to dissemination. Geographic coordinates that indicate the occurrence of *A. sisalana* were obtained from online databases and then treated in order to maintain the reliability of the models. Nineteen climatic variables from WordClim were considered. Procedures were performed in the R software and the models were tested with partitions of 70% for training and 30% for testing. 32 unique records for the species in South America were used. The Jaccard value for the models was 0.85 considered good, indicating that the models generated are reliable. The results indicated an increase in areas suitable for the occurrence of invasive *A. sisalana* in the future. That said, it is believed that the invasive potential of the species will be greater, due to the increase in the area of dispersion. Allied to this, the present reality does not contribute to the reduction of threats to biodiversity in the exposed scenario.

Keywords: Modeling, Invasive plants, Climate change, Loss of biodiversity, Sisal.

1 1. Introdução

2 Vários são os fatores que contribuem para a perda de biodiversidade, como a destruição
3 e a fragmentação de habitats, mudanças climáticas globais entre outras ações antrópicas que
4 tem aumentado significativamente (LAURANCE et al. 2014). Consequentemente, em resposta
5 a tais mudanças rápidas e intensas, muitas espécies estão sendo perdidas mesmo antes de serem
6 formalmente descritas pela ciência, constituindo o atual cenário de taxas de extinção de espécies
7 ainda maiores do que as observadas em eventos passados de extinção de massa (CEBALLOS
8 et al. 2015, 2017).

9 Dentre as adversidades que dificultam a conservação de espécies nativas, está a invasão
10 por espécies exóticas, que de acordo com seu potencial invasor, acabam por gerar problemas
11 ambientais (RICHARDSON et al. 2000). A exemplo, podem causar alterações em diversas
12 dinâmicas de fluxo de matéria e energia dos ecossistemas dos novos locais de ocupação,
13 tornando possível um cenário de supressão de espécies nativas (BRADLEY et al. 2010;
14 MANGLA et al. 2011). Um fator importante é que a introdução de exóticas, pode oferecer
15 vantagens bióticas, com interações positivas aumentadas, como polinização e redução de
16 interações negativas, como competição e predação, pois a espécie perde seus predadores e
17 patógenos naturais, o que facilita o sucesso para a espécie e sua invasão, devido ao crescimento
18 descontrolado (KEANE & CRAWLEY, 2002; JESCHKE & HEGER, 2011). A distribuição
19 geográfica de qualquer espécie depende de sua tolerância ambiental, restrições de dispersão e
20 interações biológicas (PETERSON et al., 2011). É importante evidenciar, que embora as
21 espécies possam se adaptar a situações de desequilíbrio, seja por plasticidade fenotípica ou por
22 seleção natural, todas possuem limites para sua capacidade de resposta adaptativa a ambientes
23 em mudança (VALLADARES et al., 2014; WILLIAMS et al., 2008).

24 Dentre as espécies conhecidas que se tornaram invasoras com o passar do tempo, quase
25 a metade dos casos são de introdução de plantas, principalmente ornamentais (REJMÁNEK &
26 RICHARDSON 1996). Já são remotos os impactos decorrentes de invasões de espécies
27 vegetais. A origem de tal problema se deu principalmente, por causa da transferência de
28 espécies com a finalidade de suprir necessidades agrícolas, florestais e outras de uso direto. Em
29 um cenário atual, a motivação para introdução de plantas exóticas voltou-se altamente para o
30 comércio de plantas ornamentais ou ainda na arborização de cidades (LORENZI, 2003;
31 LORENZI et al., 2018). Além disso, em alguns casos, a introdução também pode ser

32 incentivada pelo cultivo da espécie exótica como alternativa de renda e subsistência por
33 populações humanas com baixa renda (LEÃO et al., 2011).

34 No senso comum, não ocasionalmente, os impactos das introduções sobre a biota nativa
35 podem ser imperceptíveis. Isso porque a espécie pode estar incorporada ao novo ambiente de
36 tal forma que passe a ser vista como nativa, a exemplo da mangueira (*Mangifera indica* L.;
37 Anacardiaceae), árvore de grande porte, originária da Índia, que chega a produzir mais de 1000
38 frutos (GARCIA & ROLANDO, 2011). Esta espécie é introduzida na América do Sul e pode
39 ser encontrada comumente em quintais de residências. Por consequência, é possível que gerem
40 impactos, uma vez que algumas destas espécies podem causar profundas alterações na estrutura
41 dos ecossistemas (OLIVEIRA 2009). A América do Sul resguarda uma das maiores
42 biodiversidades do planeta, por isso, a introdução de espécies invasoras é um risco (MYERS et
43 al., 2000).

44 A espécie vegetal *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm (Agavaceae), vulgarmente
45 conhecida como sisal, é nativa da Península de Yucatán, no México e está entre as plantas
46 exóticas invasoras introduzidas na América do Sul (I3N BRASIL, 2019; ZENNI & ZILLER,
47 2011). É uma planta semixerófila, que requer clima quente e alta luminosidade, isso faz com
48 que seja resistente a longas estiagens. Além disso, possui folhas carnosas, número reduzido de
49 estômatos e epiderme fortemente cutinizada, que atribuem a ela defesa contra condições de
50 aridez (SILVA, 1999). Por isso, é adaptada a regiões semiáridas e tem preferência por regiões
51 costeiras, registros indicam que está introduzida em 71 países e ilhas (I3N BRASIL, 2019;
52 GBIF). Tem importante destaque econômico, pois é a principal fibra vegetal produzida no
53 mundo, correspondendo a aproximadamente 70% da produção comercial (MATOSO et al.,
54 1997). Considerando a América do Sul, destaca-se sua prevalência na região Nordeste do Brasil,
55 onde seu cultivo está bem instaurado, pois configura fonte de renda com resultados econômicos
56 satisfatórios no semiárido, com predomínio do trabalho familiar (SILVA et al., 1999;
57 MIRANDA, 2011). A espécie *A. sisalana* é prejudicial para a biodiversidade nativa, uma vez
58 que provoca a expulsão de espécies por ocupação de espaço, reduz o volume de água contida
59 no solo, e ainda, provoca alteração do hábitat, competição, mudanças ecossistêmicas e
60 consequentemente redução da biodiversidade natural (I3N BRASIL, 2019; LEÃO et al., 2011).

61 Adjunto à problemática da invasão ecológica, pode-se destacar a emissão de gases do
62 efeito estufa, que geram potenciais mudanças climáticas globais e com isso, espera-se que a

63 distribuição espacial de espécies exóticas invasoras seja alterada em resposta a pressão
64 ambiental. Assim, sejam amplificadas as contrariedades, uma vez que no cenário futuro os
65 problemas podem ser ainda maiores do que aqueles esperados em um cenário presente.
66 (THEOHARIDES & DUKES 2007; PAUCHARD et al. 2016). Prever estes cenários
67 contribuem com tomadas de decisão, com base nas informações sobre áreas climaticamente
68 favoráveis a invasão no futuro (GUISAN et al. 2013). Apesar de conhecidos os prejuízos
69 decorrentes da disseminação de espécies exóticas invasoras, como *A. sisalana* por exemplo,
70 ainda são insuficientes os estudos que indicam a distribuição das mesmas, por isso é um assunto
71 que requer atenção (MACK et al., 2000). A falta de informação disponível limita o
72 planejamento de estratégias de conservação e conscientização, então torna-se crucial a
73 avaliação de bases de informações já existentes a fim de suprir lacunas (MEYERSON &
74 MOONEY, 2007).

75 A experiência internacional mostra que a estratégia mais eficiente para enfrentar o
76 problema é evitar novas introduções, uma vez que ao trabalhar com estratégias de prevenção,
77 os custos são menores e as chances de resolver os problemas são maiores quando comparadas
78 às estratégias de controle pós-invasão (ZILLER et al., 2007). Neste sentido a modelagem de
79 nicho ecológico, é uma ferramenta vantajosa, que estima parâmetros de nicho ambiental
80 multivariado para as espécies-alvo por meio da relação de dados biogeográficos com as
81 ocorrências e variáveis ambientais preditoras nesses locais. Deste modo, são capazes de projetar
82 as condições ambientais em regiões onde a espécie não é conhecida e permitem identificar
83 locais adequados para invasão (ARAÚJO & GUISAN, 2006; ELITH & LEATHWICK, 2009).
84 Os modelos, por serem capazes de identificar condições favoráveis e fazer projeções no espaço
85 geográfico, são muito utilizados para entender a distribuições de espécies invasoras (ARAUJO
86 & GUISAN, 2006). Nessa concepção, este estudo utilizou a modelagem de nicho ecológico
87 como instrumento para projetar ambientes favoráveis para a espécie vegetal invasora *A.*
88 *sisalana*, a fim de compreender sua distribuição e mensurar o risco que pode causar a
89 biodiversidade nativa da América do Sul.

90 2. Materiais e Métodos

91 2.1. Determinação de ocorrências

92 Em um primeiro momento, é necessário reunir pontos de ocorrência da espécie em
93 estudo, para isso, fez-se uma busca em bancos de dados online, sendo estes: GBIF
94 (<https://www.gbif.org>), *Species Link* (<https://splink.cria.org.br/>), Portal da Biodiversidade
95 Reflora (<https://portaldabiodiversidade.icmbio.gov.br/portal/>). O banco de dados também foi
96 complementado com ocorrências do levantamento nacional de espécies invasoras do Instituto
97 Hórus de Desenvolvimento e conservação Ambiental (<http://i3n.institutohorus.org.br>). Durante
98 as buscas foram coletados todos os registros para a nomenclatura *A. sisalana* e *A. sisalana*
99 *perrine*. A fim de complementar os dados encontrados, também foram considerados registros
100 encontrados na literatura, obtidos pela busca na coleção principal do *Web of Science*
101 (www.webofknowledge.com). As informações foram organizadas tendo em conta as
102 coordenadas geográficas (latitude e longitude) e nome da espécie. As coordenadas obtidas em
103 geodésica foram convertidas para decimal, para serem usadas. Após a obtenção dos dados, foi
104 feita limpeza dos mesmos para que sejam utilizados na confecção dos modelos, apenas registros
105 únicos, garantindo a maior confiabilidade possível das ocorrências, com a finalidade de evitar
106 enviesamento dos resultados, uma vez que os modelos são produzidos com base nessas
107 informações, logo, a qualidade dos dados está diretamente relacionada com a qualidade dos
108 modelos (LEMES et al., 2011). Partindo desse pressuposto, foram desconsiderados registros
109 correspondentes a centroides urbanos nem coordenadas não específicas, dado que
110 generalizações no referenciamento não são recomendáveis para produção de modelos
111 preditivos (FOODY, 2011). Ainda, foram excluídas coordenadas com latitude ou longitude
112 igual 0, registros duplicados e aglomerados em uma célula de 4 km (BECK et al. 2014). Por
113 fim, são mantidos apenas os pontos localizados na região de estudo, deste modo, foram
114 considerados apenas registros da América do Sul. A limpeza por região foi feita através do
115 software de informações geográficas ArcGIS.

116 2.2. Modelagem de distribuição

117 Para modelagem da distribuição presente e futura (2070) da espécie invasora *Agave*
118 *sisalana*, foram utilizadas 19 variáveis bioclimáticas obtidas por meio do sítio disponível no
119 *WorldClim* (<https://www.worldclim.org/>). Os dados agrupados foram padronizados e

120 submetidos a análise de componentes principais (PCA), que consiste em definir os componentes
121 de maior representatividade. Das variáveis totais foram escolhidos seis componentes que
122 caracterizam 95% da variação ambiental original. Esse procedimento tem o objetivo de
123 diminuir a colinearidade entre as variáveis ambientais e a sobreprevisão dos modelos, a fim de
124 evitar distribuições potenciais finais não confiáveis (JIMÉNEZ-VALVERDE et al. 2011).

125 Para a predição futura foram usados 17 Modelos de Circulação Global Atmosfera-
126 Oceano (AOGCMs) que fornecem 19 variáveis climáticas para o ano de 2070, também obtidos
127 no *WordClim*. Entre os cenários para o futuro foi considerado apenas o mais pessimista
128 (*Representative Carbon Pathway - RCP8.5*). Neste cenário, espera-se aumento constante das
129 emissões de gases de efeito estufa, contínuas e frequentes mudanças no uso da terra, aumento
130 da população humana, alto consumo de combustíveis fósseis e ausência de políticas climáticas
131 efetivas para a diminuição de emissões (RIAHI et al. 2011). As variáveis ambientais para o
132 futuro foram obtidas e tratadas da mesma forma já apresentada, mas neste caso, para cada
133 cenário futuro. Coeficientes lineares da PCA do presente foram projetados em cada um dos
134 cenários do futuro, a fim de garantir a dependência dos cenários futuros em relação ao cenário
135 atual. Com objetivo de controlar a autocorrelação espacial entre os registros e evitar que
136 quadrantes de áreas inadequadas para espécie sejam utilizadas na construção dos modelos,
137 particionamos as ocorrências das espécies de forma aleatória de 70% de ocorrências para treino
138 e 30% para teste, que serão repetidos 10x em 10 subconjuntos.

139 Antes de confeccionar os modelos obtivemos um *shapefile* de ecorregiões no site do
140 World Wildlife Fund (<https://www.worldwildlife.org/biomes>) e restringimos nossos modelos
141 às ecorregiões da América do Sul onde ocorrências conhecidas da espécie foram previamente
142 registradas. Pois os mapas finais serão ainda filtrados para manchas com ocorrências
143 previamente preditas como presenças, pelo método de restrição baseado em ocorrências -
144 *Occurrence based restriction*, (MENDES et al., 2020).

145 Dentre os métodos de modelagem de distribuição de espécies foram utilizados seis,
146 sendo eles: *BRT- Boosted Regression Trees* (HIJMANS et al. 2017) *GAM - Generalized*
147 *Additive Models* (HASTIE; TIBSHIRANI, 1990); *GLM - Generalized Linear Models*
148 (NELDER; WEDDERBURN, 1972); *MXS - Maximum Entropy* (PHILLIPS; ANDERSON;
149 SCHAPIRE, 2006); *RDF - Random Forest* (BREIMAN, 2001) e *SVM - Support Vector*
150 *Machine* (CORTES; VAPNIK, 1995).

151 2.3. Validação dos modelos e confecção dos mapas

152 Para avaliar a confiabilidade dos modelos, foi utilizado o índice de similaridade de
153 Jaccard, baseado na comparação dos modelos produzidos com os dados observados, tendo seus
154 valores variando de zero a um. O valor de 1 significa que as previsões correspondem
155 perfeitamente às observações, sem nenhum falso positivo ou falso negativo. Um valor de 0
156 significa que nenhuma das previsões correspondeu a qualquer observação. Quanto menor o
157 valor de similaridade, maior o número de falsos positivos e falsos negativos, em relação ao
158 número de verdadeiros (LEROY et al., 2018). O limiar de corte de matrix de adequabilidade
159 (valores de 0 a 1 em todas as células) para mapas de presença/ausência: Essa abordagem
160 contribui para que os resultados da pesquisa sejam confiáveis, reduzindo erros de omissão ou
161 sobreprevisão, maximizando a capacidade dos modelos de prever novas áreas de
162 adequabilidade sem criar extrapolações que fujam arbitrariamente da realidade.

163 Uma fonte importante de incerteza do modelo é causada pelos diferentes algoritmos
164 usados para ajustar os modelos. Por isso, o método comumente usado para lidar com isso é criar
165 um modelo de *ensemble* de diferentes algoritmos (ARAÚJO E NEW, 2007; MARMION et al.,
166 2009). Os modelos finais de cada algoritmo, ou seja, cada método de modelagem, foi
167 concatenado em um único modelo por cenário, utilizando um método de conjunto de
168 argumentos chamado de *ensemble* ponderado. Neste caso, as predições para a espécie *A.*
169 *sisalana* que obtiveram os melhores valores de Jaccard tinham mais peso na composição do
170 mapa de predição do que aquelas que obtiveram um valor menor. Os mapas foram
171 confeccionadas no software de informações geográficas ArcGIS utilizado dos modelos gerados
172 aplicados ao shape da América do Sul. Todo o procedimento de modelagem foi realizado no
173 ambiente R versão 3.6.6 (R Development Core Team 2020) no qual foi utilizado o script
174 proposto no pacote ENMTML, para rodar e confeccionar os modelos (ANDRADE;
175 VELAZCO; DE MARCO JÚNIOR, 2020).

176 3. Resultados

177 Foram obtidos um total de 3.253 pontos de ocorrência para a *A. sisalana* no mundo todo,
178 indicando o alto potencial invasor da espécie que está espalhada em diferentes regiões. Após o
179 recorte para a América do Sul, restaram 60 ocorrências dos dados originais. Após a limpeza,

180 por fim, foram utilizados 32 pontos de ocorrência (**Tabela 1**). Esses pontos de distribuição
 181 únicos foram utilizados para a construção dos modelos.

Tabela 1 - Coordenadas geográficas para a espécie vegetal invasora *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul, obtidas em banco de dados online e literatura, após limpeza. Os 32 pontos únicos foram utilizados na confecção dos modelos de área de adequabilidade.

<i>Coordenadas geográficas de A. sisalna</i>	
<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
-47.401	-22.411
-38.635	-7.7833
-37.246	-8.582
-38.892	-7.6208
-37.999	-12.564
-39.083	-12.533
-41.15	-11.55
-35.843	-8.3819
-47.928	-15.733
-35.908	-5.1322
-42.766	-5.044
-41.467	-7.077
-35.251	-7.845
-35.173	-7.898
-35.578	-7.797
-47.401	-22.411
-39.333	-11.666
-39.526	-11.465
-39.416	-11.479
-39.461	-11.74
-37.126	-7.877
-40.176	-10.459
-40.411	-20.589
-40.518	-11.180
-39.4	-7.415
-37.344	-5.1886
-47.077	-22.870
-45.510	-23.83
-69	12.166
-58.398	-34.597
-37.031	-10.573
-39.333	-11.666

182 Destaca-se o número de ocorrências presente na região nordeste do Brasil (**Figura 1**), com
 183 registros no Rio Grande do Norte, Ceará, Maranhão, Piaí, Bahia, Pernambuco e Paraíba.

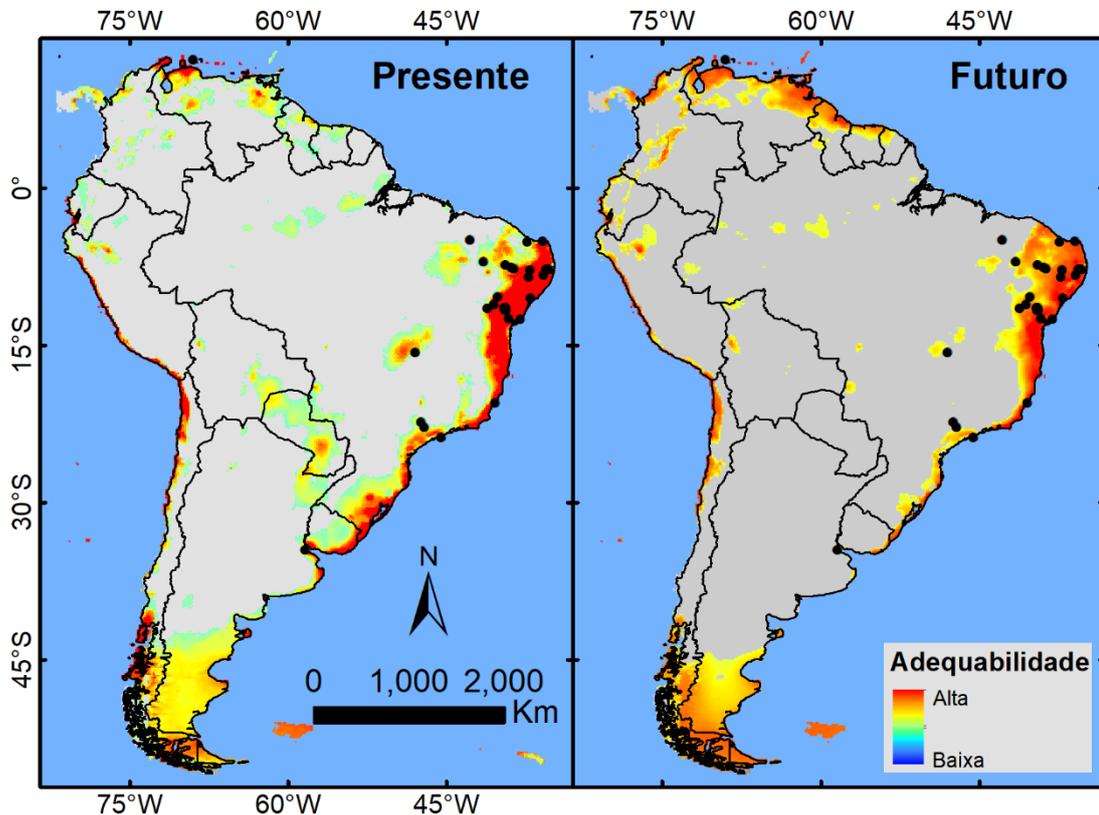
184 O índice de similaridade Jaccard, teste utilizado para avaliar os modelos gerados teve a
 185 média de $0,85 \pm 0,43$ o que significa que os resultados são bons e as predições são confiáveis,
 186 uma vez que valor apresentado foi bem próximo a 1, indicando que os resultados correspondem
 187 ao que é observado e que falsos positivos e falsos negativos foram mínimos. Por consequência
 188 acredita-se que os modelos não apresentam sobreprevisão ou omissão de regiões adequadas
 189 (LEROY et al., 2018).



Figura 1 - Mapa indicando a distribuição espacial dos 32 pontos de ocorrência únicos registrados atualmente para a espécie vegetal invasora *Agave sisalana* Perr. Ex. Engelm na América do Sul.

190 Na predição para o presente, os modelos mostram que as áreas de maior adequabilidade
 191 (regiões em vermelho) para *A. sisalana* é o litoral leste brasileiro passando pelo Uruguai até um
 192 pequeno fragmento da Argentina, além de uma pequena parte do litoral oeste que perpassa o
 193 Peru e o Chile. Há fragmentos da Venezuela com alta adequabilidade para a espécie, assim
 194 como, o mapa também revela várias Ilhas com alta adequabilidade em todo o seu o território.
 195 No entanto, na região Nordeste do Brasil, é a área que mais se destaca, com maior prevalência
 196 de ocorrência da espécie além da alta adequabilidade para expansão de distribuição da mesma.
 197 Conjuntamente, o modelo apresenta fragmentos com baixa adequabilidade (regiões em verde)

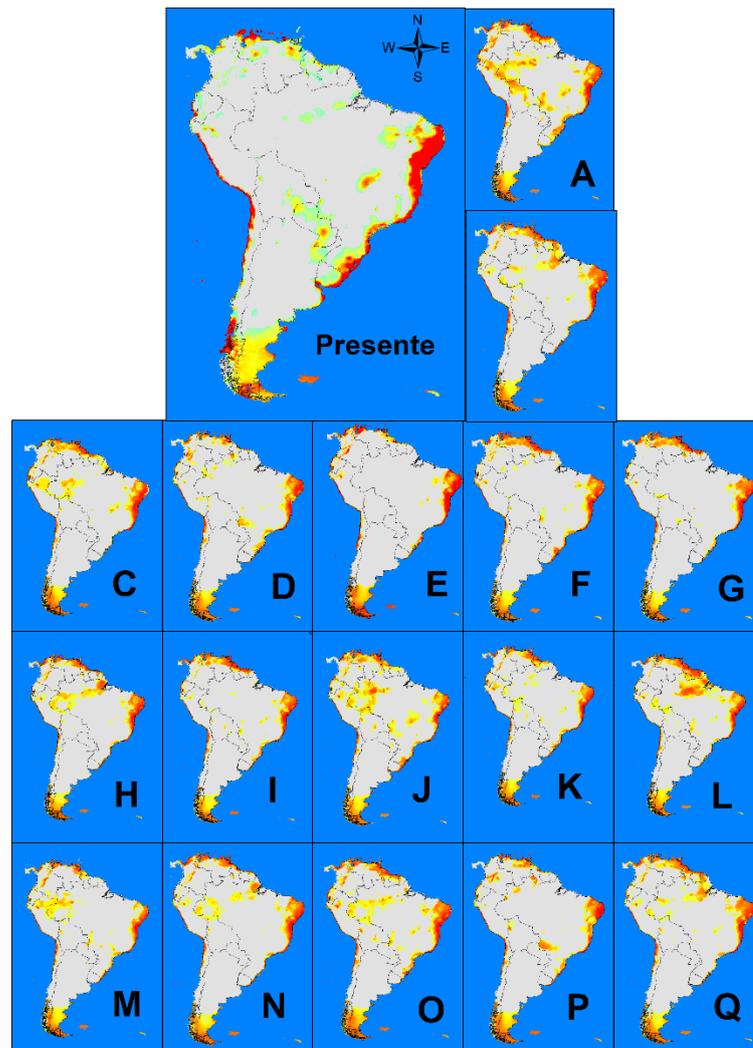
198 em fragmentos de diferentes regiões da América do Sul, principalmente o Norte e boa parte do
 199 território do Paraguai. É notório, regiões de adequabilidade moderada (regiões em amarelo), se
 200 destacando o Sul.



201 **Figura 2.** Mapa de previsão de áreas de adequabilidade presente x ensemble do futuro (2070)
 202 para *A. sisalana* confeccionado a partir dos modelos gerados pelos algoritmos BRT, GAM,
 203 GLM, MXS, RDF e SMV. Regiões com coloração próximas ao vermelho indicam área de alta
 204 adequabilidade para a ocorrência da espécie, enquanto que próximas ao azul, indicam baixa
 205 adequabilidade. Coloração cinza indica ausência da espécie.

206 Na predição para o presente, os modelos mostram que as áreas de maior adequabilidade
 207 (regiões em vermelho) para *A. sisalana* é o litoral leste brasileiro passando pelo Uruguai até um
 208 pequeno fragmento da Argentina, além de uma pequena parte do litoral oeste que perpassa o
 209 Peru e o Chile. Há fragmentos da Venezuela com alta adequabilidade para a espécie, assim
 210 como, o mapa também revela várias Ilhas com alta adequabilidade em todo o seu o território.
 211 No entanto, na região Nordeste do Brasil, é a área que mais se destaca, com maior prevalência
 212 de ocorrência da espécie além da alta adequabilidade para expansão de distribuição da mesma.

213 Conjuntamente, o modelo apresenta fragmentos com baixa adequabilidade (regiões em verde)
 214 em fragmentos de diferentes regiões da América do Sul, principalmente o Norte e boa parte do
 215 território do Paraguai. É notório, regiões de adequabilidade moderada (regiões em amarelo), se
 216 destacando o Sul.



217 **Figura 3.** Mapa de previsão de adequabilidade presente x ensemble do futuro (2070) com mapas
 218 dos 17 modelos que configuram o ensemble do cenário Atmosfera-Oceano de emissões de gases
 219 do efeito estufa mais pessimista (RCP8.5). A) BCC-CSM1-1; B) CCSM4; C) CNRM-CM5; D)
 220 GFDL-CM3; E) GISS-E2-R; F) HadGEM2-AO; G) HadGEM2-ES; H) HadGEM2-CC; I)
 221 INMCM4; J) IPSL-CM5A-LR; K) MIROC5; L) MRICGCM3; M) MIROC-ESM-CHEM; N)
 222 MPI-ESM-LR; O) MIROC-ESM; P) NorESM1-M. Q) ACCESS1-0.

223 No ensemble de previsão para o Futuro (**Figura 2**), o modelo não revela aumento de
 224 território com adequabilidade considerável, contudo, com os efeitos das mudanças climáticas,

225 há um aumento no grau de adequabilidade. Regiões com baixa adequabilidade foram
226 substituídas por moderada, além do aumento de áreas com alta viabilidade para a ocorrência da
227 espécie. Os resultados sinalizam que no futuro, é provável um aumento da vulnerabilidade de
228 diferentes partes da América do Sul em relação a dispersão e estabelecimento de *A. sisalana*,
229 considerando o cenário de previsão mais pessimista.

230 4. Discussão

231 Destaca-se o número de ocorrências de *A. sisalana* presentes na região nordeste do
232 Brasil, com registros no Rio Grande do Norte, Ceará, Maranhão, Piauí, Bahia, Pernambuco e
233 Paraíba. Isso pode ser explicado principalmente pela importância econômica que a espécie
234 representa para o semiárido brasileiro, sendo que o Rio Grande do Norte, Bahia e Paraíba são
235 os principais produtores de todo o território Nacional (SILVA & BELTRÃO, 1999). Na
236 América do Sul, as primeiras mudas de *A. sisalana* foram introduzidas no Brasil pelo estado da
237 Bahia em 1903, onde a espécie se estabeleceu fortemente e se dispersou (MARTINS, 2001).
238 Os mapas gerados no presente trabalho, mostram que a região nordeste do Brasil apresenta
239 áreas com características ambientais bastante favoráveis para a espécie, o que pode explicar o
240 sucesso da mesma nessa extensão, principalmente para o trabalho familiar, que requer menos
241 recursos para cultivo (MIRANDA, 2011). O exposto concorda com o trabalho de MIRANDA
242 (2011), que aborda aspectos da produção sisaleira no semi-árido brasileiro e afirma que o sisal
243 é cultivado numa das áreas mais secas do território, e nos primórdios de sua introdução era
244 produzida em condições muito precárias.

245 Os resultados desse trabalho apontam que no futuro, o potencial invasor da *A. sisalana*
246 torna-se ainda maior (**Figura 2**), em consequência ao aumento de regiões possíveis de
247 ocupação, devido às mudanças ambientais causadas pela emissão de gases que agravam o efeito
248 estufa. As mudanças climáticas são as maiores ameaças para a biodiversidade mundial, sendo
249 esta, uma questão urgente e um dos principais desafios para o futuro (MILLENNIUM
250 ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005; PRESSEY et al. 2007). Destaca-se a preferência de *A.*
251 *sisalana*, por regiões de clima seco, considerando, a previsão para regiões de ocorrência na
252 caatinga, no nordeste brasileiro e no sul da Argentina, no bioma estepe patagônica. Além do
253 clima, a topografia e o solo, como considerado em nossos modelos, determinam a
254 particularidade de mudança da vida vegetal, tendo-se o clima como principal influente sobre as
255 formas de crescimento e distribuição das plantas nos biomas (RICKLEFS, 2010). Sua

256 instauração na Caatinga é preocupante, os prejuízos ambientais se iniciam com o desmatamento
257 e a substituição da vegetação nativa por outra cultivada de porte e ciclo de vida diferentes. A
258 retirada dos produtos sem a devida reposição dos nutrientes, leva à perda da fertilidade e da
259 capacidade produtiva do solo (SAMPAIO et al., 2005). Somado a isso, o trabalho de SAMPAIO
260 (2005) ainda alerta sobre o risco do processo de desertificação e a lenta capacidade de
261 regeneração da Caatinga.

262 Para mais, o presente trabalho aponta ocorrência da espécie em territórios que possuem
263 extensão na mata atlântica, (**Figura 2**), além de alta adequabilidade, o que favorece o
264 estabelecimento da mesma. Isso revela a capacidade adaptativa da espécie em conseguir
265 sobreviver em diferentes gradientes ambientais. Isso posto, é uma ameaça, pois a Mata
266 Atlântica, é um dos biomas brasileiros adicionados à lista de *Hotspots* de biodiversidade, ou
267 seja, “pontos quentes” de biodiversidade e de níveis muito elevados de destruição de habitat,
268 os quais exigem atenção prioritária das autoridades para a conservação de suas espécies
269 (MYERS et al. 2000). Nesse cenário, os modelos também revelam que as ilhas presentes na
270 América do Sul são vulneráveis a introdução de *A. sisalana*, pois apresentam alta
271 adequabilidade em seu território. A incorporação de invasoras nesses ambientes é um risco,
272 pois as ilhas oceânicas possuem ecossistemas e geralmente biodiversidade únicos,
273 particularmente sensíveis a perturbações e por isso devem ser geridos de forma a evitar a sua
274 destruição e/ou extinção irreversível (BORGES, 2009). Os estudos de FULGÊNCIO-LIMA
275 (2021), sobre a distribuição de plantas invasoras no Brasil, revelam ameaça às unidades de
276 conservação (UCs), comparativamente aos modelos gerados para *A. sisalana*, é possível
277 concordar que a distribuição da espécie e as áreas de adequabilidade revelam risco para as UCs
278 presentes na região do litoral leste brasileiro, o que pode afetar fortemente a conservação da
279 biodiversidade nativa desses ambientes (Spear et al. 2013).

280 Sabendo-se os impactos que podem ser causados pela introdução da invasora em estudo,
281 é importante ações que mitiguem a expansão da mesma em ambientes exóticos. A alta
282 capacidade de dispersão, alta competitividade, importância econômica e baixo rendimento de
283 cultivo, tendo que apenas de 3 a 5% da planta é utilizada, ainda, somado as regiões adequadas
284 (SILVA et al., 1999; MIRANDA, 2011) são fatores que contribuem com a propagação da
285 espécie e dificultam mecanismos de contenção da disseminação de espécies invasoras. O
286 controle de *A. sisalana* pode-se dar de forma mecânica por meio do arranquio de plântulas,
287 também pode ser feito controle químico, no qual é utilizado óleo vegetal diluído em herbicida

288 e aplicado na base da planta para causar sua morte (CLARAMELLO, 1975). Contudo, de forma
289 mais lenta, porém mais efetiva, MOLES et al. (2012) defendem a hipótese de que as invasões
290 biológicas são melhor contidas pela mudança no regime de perturbação (perturbação crônica),
291 como por exemplo a emissão de gases do efeito estufa. A perturbação pode criar novos
292 ambientes que sejam seletivos às espécies nativas e mais propícios às espécies exóticas, a partir
293 da formação de microhabitats e da disponibilidade de nicho (PARKER et al. 1993; CARLTON
294 1996).

295 **5. Conclusão**

296 No futuro é possível que haja um aumento de áreas adequadas para *A. sisalana* na
297 América do Sul, por consequência das mudanças climáticas, provocadas devido a ações
298 antrópicas, que geram emissão de gases poluentes na atmosfera. A alteração do clima provoca
299 mudanças ambientais de forma sistêmica e acabam por gerar impactos na biodiversidade, a
300 exemplo do exposto no presente trabalho, que é o beneficiamento na dispersão e no
301 estabelecimento de plantas exóticas invasoras que provocam perda de espécies nativas.

302 Além disso, há a possibilidade de dispersão da espécie em diferentes regiões da América
303 do Sul, ressaltando extensões que especialmente ameaçam três biomas diferentes, sendo que
304 um deles é um *Hotspot* de biodiversidade mundial. A realidade presente não colabora com a
305 diminuição das ameaças a biodiversidade apresentadas por essa pesquisa, por isso, sugere-se a
306 continuidade de buscas semelhantes a essa, com foco em indicadores que favoreçam a invasão
307 biológica, pois as informações geradas podem ser promissoras e relevantes à implantação de
308 medidas de prevenção, manejo e controle, que favoreçam a conservação e a recuperação
309 ecológica.

310 **6. Referências**

- 311 ANDRADE, A. F. A.; VELAZCO, S. J. E.; DE MARCO JÚNIOR, P. ENMTML: An R
312 package for a straightforward construction of complex ecological niche models.
313 **Environmental Modelling & Software**, v. 125, p. 104615, 1 mar. 2020.
- 314 ARAÚJO, M. B.; GUIBAN, A. Five (or so) challenges for species distribution modelling.
315 **Journal of Biogeography**, 33(10), 1677–1688, 2006.

- 316 BECK, J.; BÖLLER, M.; ERHARDT, A.; SCHWANGHART, W. Spatial bias in the GBIF
317 database and its effect on modeling species' geographic distributions. **Ecol Inform**, v. 19, 10–
318 15, 2014.
- 319 BORGES, P. A.V.; AZEVEDO, E. B.; BORBA, A.; DINIS, F. O.; GABRIEL, R.; SILVA, E.
320 "Ilhas Oceânicas". In H.M. Pereira, T. Domingos & L. Vicente (Eds.), «Ecosistemas e bem-
321 estar humano: avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment». **Escolar**
322 **Editora**, Lisboa: pp. 463-510, 2009.
- 323 BREIMAN, L. Random forests. **Machine learning**, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.
- 324 BUJA, A.; HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R. Linear smoothers and additive models. **The Annals**
325 **of Statistics**, v. 17, n. 2, p. 453–510, 1989.
- 326 BYERS, G. W. New and uncommon neotropical Mecoptera. **Journal of the Kansas**
327 **Entomological Society**, p. 135–144, 1965.
- 328 CARLTON, J. T. Pattern, process, and prediction in marine invasion ecology. **Biological**
329 **Conservation** v.78, p. 97–106, 1996.
- 330 CEBALLOS, G.; EHRLICH, P. R.; BARNOSKY, A. D. et al. Accelerated modern human–
331 induced species losses: entering the sixth mass extinction. **Sci Adv** 1:e1400253, 2015.
- 332 CEBALLOS, G.; EHRLICH, P. R.; DIRZO, R. Biological annihilation via the ongoing sixth
333 mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. **Proc Natl Acad Sci**
334 **USA**, <https://doi.org/10.1073/pnas.1704949114>, 2017
- 335 CLARAMELLO, D. Estudo comparativo entre espécies de AGAVE. **Revista Científica do**
336 **Instituto Agrônômico de São Paulo** n. 11, v. 34, 1975.
- 337 CORTES, C.; VAPNIK, V. Support-vector networks. **Machine learning**, v. 20, n. 3, p. 273–
338 297, 1995.

- 339 FOODY, G. M. Impacts of imperfect reference data on the apparent accuracy of species
340 presence–absence models and their predictions. **Global Ecology and Biogeography**, v. 20, n.
341 3, p. 498–508, 2011.
- 342 FULGÊNCIO-LIMA, L. G.; ANDRADE, A. F. A.; VILELA, B. et al. Plantas invasoras no
343 Brasil: efeitos das mudanças climáticas e detecção de áreas adequadas em unidades de
344 conservação. **Biol Invasions**, 2021.
- 345 GBIF.ORG. Global Biodiversity Information Facility, Occurrence Download. Disponível em:
346 Acesso em: 8 set. 2019.
- 347 GISIN. Global Invasive Species Information Network. Disponível em: Acesso em: 8 set. 2019.
- 348 GUISAN, A.; EDWARDS, J. R.; T. C.; HASTIE, T. Generalized linear and generalized additive
349 models in studies of species distributions: setting the scene. **Ecological modelling**, v. 157, n.
350 2–3, p. 89–100, 2002.
- 351 HASTIE, T. J.; TIBSHIRANI, R. J. Generalized additive models. CRC Monographs on
352 Statistics & Applied Probability. **New York: Chapman & Hall**, 1990.
- 353 HIJMANS, R. J.; PHILLIPS, S.; LEATHWICK, J.; ELITH, J. Dismo: species distribution
354 modeling. <http://Cran.R-Project.Org/Web/Packages/Dismo>, 2017.
- 355 I3N BRASIL. Base de dados nacional de espécies exóticas invasoras I3N Brasil, Instituto 389
356 Hórus de Desenvolvimento e Conservação Ambiental, Florianópolis – SC. Disponível em:
357 Acesso em: 1 mar. 2020.
- 358 JACCARD, P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. **Bull. Soc. Vaud. Sci. Nat.**, v.
359 44, p. 223–270, 1908.
- 360 JIMÉNEZ-VALVERDE, A.; PETERSON, A. T.; SOBERÓN J. et al. Use of niche models in
361 invasive species risk assessments. **Biol Invasions** 13:2785–2797, 2011.
- 362 LAURANCE, W. F.; SAYER, J; CASSMAN, K. G. Agricultural expansion and its impacts on
363 tropicais nature. **Trends Ecol Evol** 29:107–116, 2014.

- 364 LEÃO, T. C. C.; ALMEIDA, W. R.; DECHOUM, M. S.; ZILLER, S. R. Espécies Exóticas
365 Invasoras no Nordeste do Brasil: Contextualização, Manejo e Políticas Públicas. **CEPAN**. 99p,
366 2011.
- 367 LEMES, P. et al. Refinando dados espaciais para a conservação da biodiversidade. *Natureza &*
368 *Conservação*, v. 9, n. 2, p. 240–243, 2011.
- 369 LEROY, B. et al. Without quality presence–absence data, discrimination metrics such as TSS
370 can be misleading measures of model performance. **Journal of biogeography**, v. 45, n. 9, p.
371 1994–2002, 2018.
- 372 LORENZI, H. Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas. **Nova**
373 **Odessa: Instituto Plantarum**, 2003.
- 374 LORENZI, H.; BACHER, L. B.; TORRES, M. A. V. Árvores e Arvoretas Exóticas no Brasil:
375 Madeireiras, Ornamentais e Aromáticas. **Nova Odessa, Instituto Plantarum**. 464p., 2018.
- 376 MACK, R. N.; SIMBERLOFF, D.; LONSDALE, W. M. et al. Biotic Invasions: Causes,
377 Epidemiology, 557 Global Consequences, and Control. **Ecol Appl** 10:689–710, 2000.
- 378 MANGLA, S.; SHELEY, R. L.; JAMES, J. J. Field growth comparisons of invasive alien
379 annual and 561 native perennial grasses in monocultures. **J Arid Environ** 75:206–210, 2011.
- 380 MARTINS, A. R. - “Caracterização e Modificação de Fibras de Sisal por Plasma a Frio Visando
381 Aplicação em Compósitos Poliméricos”. **Tese de Doutorado**, Universidade Federal de São
382 Carlos, Brasil, 2001.
- 383 MATTOSO, L. H. C.; FERREIRA, F. C.; CURVELO, A. A. S. - “Lignocellulose-Plastic
384 Composites”, Leão, A. L.; Carvalho, F. X.; Frollini, E. (ed.), USP & UNESP, São Paulo, 1997.
- 385 MENDES, P.; VELAZCO, S. J. E.; DE ANDRADE, A. F. A.; DE MARCO, P. Dealing with
386 overprediction in species distribution models: How adding distance constraints can improve
387 model accuracy. **Ecol Modell** 431:109180, 2020.

- 388 MEYERSON, L. A.; MOONEY, H. A. Espécies exóticas invasoras em uma era de
389 globalização. *Fronteiras em Ecologia e Meio Ambiente*, 5, 199-208, 2007.
- 390 MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and human well-being:
391 biodiversity synthesis. Washington, DC. 2005.
392
- 393 MIRANDA, G. P. M. *Agave sisalana*, o ouro verde do sertão: O mundo do trabalho e os espaços
394 de resistência narrados pela memória dos velhos sisaleiros do semi-árido paraibano (1970-
395 1990). **Anais do XXVI Simpósio Nacional de História - ANPUH**, p. 1–12, 2011.
- 396 MOLES, A. T. et al. Invasions: the trail behind, the path ahead, and a test of a disturbing idea.
397 **Journal of Ecology** 100:116–127, 2012.
- 398 MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p.
399 853, 2000.
- 400 NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized linear models. **Journal of the Royal**
401 **Statistical Society: Series A (General)**, v. 135, n. 3, p. 370–384, 1972.
- 402 OLIVEIRA, M. D. Introdução de espécies-uma das maiores causas de perda de biodiversidade.
403 **Embrapa Pantanal-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2004.
- 404 PARKER, I. M.; MERTENS, S. K.; SCHEMSKE, D. W. Distribution of 7 native and 2 exotic
405 plants in a tallgrass prairie in southeastern Wisconsin: the importance of human disturbance.
406 **The American Midland Naturalist** 130: 43–55, 1993.
- 407 PETERSON, A. T. et al., Ecological Niches And Geographic Distributions (MPB-49).
408 **Monographs in Population Biology**. Princeton Univ. Press, 2011.
- 409 PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of
410 species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3–4, p. 231–259, 2006.
- 411 PRESSEY, R. L.; CABEZA, M.; WATTS, M. E.; COWLING, R. M., WILSON, K. A.
412 Conservation planning in a changing world. **Trends Ecol. Evol.**, in press, 2007.

- 413 REFLORA. Herbário Virtual. Disponível em: Acesso em: 8 set. 2019.
- 414 REJMÁNEK, M.; RICHARDSON, D. M. What attributes make some plant species more
415 invasive? **Ecology** 77, 1655-1661, 1996.
- 416 RIAHI, K.; RAO, S.; KREY, V. et al. RCP 8.5 - A scenario of comparatively high greenhouse
417 gas emissions. **Clim Change** 109:33–57, 2011.
- 418 RICHARDSON, D. M.; PYSEK, P, REJMANEK, M. et al. Naturalization and invasion of alien
419 plants: concepts and definitions. **Divers Distrib** 6:93–107, 2000.
- 420 RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 6ª ed. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro,
421 2010. 572 p.
- 422 ROBERTS, D. R.; BAHN, V.; CIUTI, S. et al. Cross-validation strategies for data with
423 temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. **Ecography (Cop)** 40:913–929, 2017.
- 424 ROYLE, J. A. et al. Likelihood analysis of species occurrence probability from presence-only
425 data for modelling species distributions. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 3, p. 545–
426 554, 2012.
- 427 SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. do S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da
428 agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v.22,
429 p.90-112, 2005.
- 430 SILVA, O. R. R.; BELTRÃO, N. R. R. F. - “O Agronegócio do Sisal no Brasil”, **Embrapa**,
431 Brasília, 1999.
- 432 SPECIESLINK. Sistema de Informação Distribuído para Coleções Científicas. Disponível em:
433 Acesso em: 8 set. 2019.
- 434 VALLADARES, F. et al. The effects of phenotypic plasticity and local adaptation on forecasts
435 of species range shifts under climate change. **Ecol. Lett.** 17, 1351–1364, 2014.

- 436 VANHATALO, J.; VENERANTA, L.; HUDD, R. Species distribution modeling with
437 Gaussian processes: A case study with the youngest stages of sea spawning whitefish
438 (*Coregonus lavaretus* L. sl) larvae. **Ecological Modelling**, v. 228, p. 49–58, 2012.
- 439 WILLIAMS, S. E.; SHOO L. P.; ISAAC J. L.; HOFFMANN, A. A. G. Langham, Towards an
440 integrated framework for assessing the vulnerability of species to climate change. **PLOS Biol.**
441 6, 2621–2626, 2008.
- 442 ZENNI, R. D.; ZILLER, S. R. An overview of invasive plants in Brazil. **Rev Bras Botânica**
443 34:431–446, 2011.
- 444 ZILLER, S. R.; ZALBA, S. M. Propostas de ação para prevenção e controle de espécies
445 exóticas invasoras. **Natureza & Conservação**, v. 5, p. 8-15, 2007.