UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
***CAMPUS* CERRO LARGO**
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AMBIENTE E TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS

ROBERTA SCHMITT DOS SANTOS

A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA MAMÍFEROS NA ECORREGIÃO DA SAVANA URUGUAIA

CERRO LARGO
2024

ROBERTA SCHMITT DOS SANTOS

A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA MAMÍFEROS NA ECORREGIÃO DA SAVANA URUGUAIA

Dissertação de Mestrado apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologia Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profª. Drª. Daniela Oliveira de Lima

CERRO LARGO

2024

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Santos, Roberta Schmitt dos
A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA MAMÍFEROS NA ECORREGIÃO DA SAVANA URUGUAIA / Roberta Schmitt dos Santos. -- 2024.
60 f.:il.

Orientadora: Dra. Daniela Oliveira de Lima

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Cerro Largo,RS, 2024.

1. Aquecimento Global. 2. Espécies ameaçadas. 3. Modelagem de distribuição geográfica. 4. Nicho climático. I. , Daniela Oliveira de Lima, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

ROBERTA SCHMITT DOS SANTOS

A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁREAS ADEQUADAS PARA MAMÍFEROS NA ECORREGIÃO DA SAVANA URUGUAIA

Dissertação de Mestrado apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologia Sustentáveis da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Mestre.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 30/04/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
DANIELA OLIVEIRA DE LIMA
Data: 13/06/2024 16:31:21-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profª. Dr.ª Daniela Oliveira Lima – UFFS
Orientadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
SIDINEI ZWICK RADONS
Data: 12/06/2024 08:42:47-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Sidinei Zwick Radons - UFFS
Avaliador

Documento assinado digitalmente
gov.br
MARCELO DE MORAES WEBER
Data: 12/06/2024 16:21:05-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Marcelo de Moraes Weber - UFSM
Avaliador

Dedico esse trabalho aos meus pais e ao meu namorado, que me deram a força necessária para que eu pudesse seguir em frente, especialmente quando eu quis desistir e a minha orientadora, a qual tenho um carinho muito especial.

AGRADECIMENTOS

Foram dois anos intensos, marcados por uma jornada de lutas e aprendizados. Apesar dos desafios que me fizeram questionar e considerar desistir, hoje estou profundamente feliz por ter conseguido chegar até aqui.

Quero agradecer a Deus e a Nossa Senhora, pela minha vida, pelas inúmeras vezes que me escutaram quando achei que não daria certo e pelo conforto nos momentos de angústia.

Quero agradecer aqui todo apoio, carinho e incentivo que recebi dos meus pais Paulo e Susane, sempre me dando força para correr atrás dos meus sonhos e do que me faria crescer profissionalmente. Ao meu irmão Luiz Octavio por ser uma criança mais que incrível na minha vida me instigando a ser um ser humano cada dia melhor. Não poderia deixar de agradecer também o meu namorado Matheus Muriel pelo incentivo e companheirismo nestes últimos dois anos. Também quero deixar registrado o carinho por todos os familiares e amigos que dividiram experiências, serviram de conforto nos momentos de dificuldade e desespero e que contribuíram com toda a trajetória nestes dois anos. Ao grupo Biologia da Conservação que serviram de alento em especial as amigas e colegas de mestrado Andressa, Ana Letícia, Laise e Claudete que foram muito importantes em todo esse tempo. E ao Me. Fabrício por todo ajuda com os dados.

Á professora Daniela quero deixar aqui meus mais profundos agradecimentos por ter sido mais que minha orientadora, mas uma amiga. Pela atenção, correções, ensinamentos, pelas várias caronas e por todos os momentos de conversas fiadas e especialmente por ter confiado em mim para realizar este trabalho. Sou grata aos demais professores que participaram de alguma forma desse trabalho ou da minha trajetória acadêmica, mas em especial ao professor Sidinei e o professor Marcelo que aceitaram fazer parte da minha banca de defesa da Dissertação.

A Universidades Federal da Fronteira Sul - UFFS, especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologia Sustentável por serem uma instituição e programa de excelente qualidade, me proporcionou realizar essa pesquisa. A Professora Iara, Professor David e a secretária do programa Cátia por toda atenção e carinho comigo e com os Mestrandos.

E assim, depois de muito esperar, num dia como outro qualquer, decidi triunfar…. Decidi não esperar as oportunidades e sim, eu mesmo buscá-las. Decidi ver cada problema como uma oportunidade de encontrar uma solução. Decidi ver cada deserto como uma possibilidade de encontrar um oásis. Decidi ver cada noite como um mistério a resolver. Decidi ver cada dia como uma nova oportunidade de ser feliz. Naquele dia descobri que meu único rival não era mais que minhas próprias limitações e que enfrentá-las era a única e melhor forma de as superar. Naquele dia, descobri que eu não era o melhor e que talvez eu nunca tivesse sido. Deixei de me importar com quem ganha ou perde. Agora me importa simplesmente saber melhor o que fazer. Aprendi que o difícil não é chegar lá em cima, e sim deixar de subir. Aprendi que o melhor triunfo é poder chamar alguém de “amigo". Descobri que o amor é mais que um simples estado de enamoramento, "o amor é uma filosofia de vida". Naquele dia, deixei de ser um reflexo dos meus escassos triunfos passados e passei a ser uma tênue luz no presente. Aprendi que de nada serve ser luz se não iluminar o caminho dos demais. Naquele dia, decidi trocar tantas coisas…. Naquele dia, aprendi que os sonhos existem para tornarem-se realidade. E desde aquele dia já não durmo para descansar... simplesmente durmo para sonhar. - Walt Disney

RESUMO

A América do Sul abriga um grande número de espécies de distribuição restrita que dependem de habitats e nichos específicos. Porém as mudanças climáticas causam modificações nos padrões de precipitação e temperatura do ar, podendo provocar modificações ou até mesmo o desaparecimento desses habitats e ameaçando a realização desses nichos. Dessa maneira, esse trabalho tem o objetivo analisar o impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição de áreas adequadas para mamíferos ameaçados e/ou com distribuição restrita na ecorregião da Savana Uruguaia, que inclui os campos do Rio Grande do Sul e do Uruguai. Foram construídos modelos de nicho ecológico buscando identificar as áreas adequadas para 67 espécies de mamíferos usando dados do *Worldclim* para o clima atual e para o ano de 2070, utilizando três algoritmos de modelagem, *Support Vector Machines* (SVM), *Random Forest* (RF) e *MaxEnt* e três modelos de circulação global, CCSM4 (*Community Climate System Model*), HadGEM2-ES (*Hadley Global Environment Model 2)* e MIROC-ESM-CHEM (*Model for Interdisciplinary Research on Climate*), para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC. Os modelos apontam para uma reorganização da fauna de mamíferos na ecorregião. A tendência apresentada é uma diminuição no número das espécies de campo e um aumento da riqueza de espécies florestais, generalistas e semiaquáticas dentro de ambos os cenários, indicando uma transição da fauna atual, predominantemente campestre, para uma fauna mais tropical/florestal. Esta reorganização da fauna ocorrerá principalmente na zona de transição do bioma da Mata Atlântica com a ecorregião da Savana Uruguaia, ou seja, na parte norte desta ecorregião.

Palavras-chave: Aquecimento Global. Espécies ameaçadas. Modelagem de distribuição geográfica. Nicho climático.

ABSTRACT

South America has a large number of species with restricted distribution that depend on specific habitats and niches. However, climate changes drastically alter precipitation and temperature patterns, which can lead to modifications or even the disappearance of these habitats, thus threatening the realization of these niches. This work aims to analyze the impact of climate change on the distribution of suitable areas for threatened mammals and/or with species with restricted distribution in the Uruguayan Savannas ecoregion, which includes the grasslands of Rio Grande do Sul, the southernmost state of Brazil, and Uruguay. Ecological niche models were constructed to identify suitable areas for 67 species of mammals using data from Worldclim for the current weather and for the year 2070, using three modeling algorithms, *Support Vector Machines* (SVM), *Random Forest* (RF) and *MaxEnt* and three models of global circulation, CCSM4 (*Community Climate System Model*), HadGEM2-ES (*Hadley Global Environment Model 2)* e MIROC-ESM-CHEM (*Model for Interdisciplinary Research on Climate*), for RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The models point to a reorganization of the mammal fauna in the Uruguayan Savanna ecoregion. It is expected to have a decrease in the number of grassland species and an increase in the richness of forest, generalist and semi-aquatic species within both scenarios in the Uruguayan Savanna ecoregion, indicating a transition from the current fauna, predominantly adapted to grasslands, to a more tropical / forest adapted fauna. This reorganization of fauna occurs mainly in the transition zone between the Atlantic Forest biome and the Uruguayan Savanna ecoregion, that is, in the northern part of this ecoregion.

Keywords: Climatic niche. Geographic distribution modeling. Global warming. Threatened Species.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: A) Tamanho estimado das áreas com clima adequado para 67 espécies de mamíferos analisados considerando todo o continente sul-americano (km2). B) Classificação das 67 espécies analisadas quanto ao seu habitat. C) Ordem das espécies analisadas. * massa corporal. Herbívoro = He e Carnívoro = Ca …….……..... ……...……..34

Figura 2: A) Proporção da ecorregião Savana Uruguaia que possui ou possuirá clima adequado para cada uma das 67 espécies de mamíferos analisadas (%). Herbívoro = He e Carnívoro = Ca.……..……..……...…..... ……..……36

Figura 3: Riqueza de espécies na região da Savana Uruguaia na condição de clima atual e em cenários futuros de emissões de gases do efeito estufa intermediário (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) considerando: A) 67 espécies de mamíferos com diversos tipos de habitat; B) 14 espécies de habitat campestre; C) 15 espécies de habitat generalista; D) 36 espécies florestais. E) 2 espécies semiaquaáticas. ….....…….....….....…… 42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espécies de mamíferos analisadas quanto ao seu nicho climático ocorrente na ecorregião da Savana Uruguaia, sua classificação em nível de ordem, massa corporal (g), habitat preferencial, dieta predominante, modo de locomoção e grau de ameaça global, no estado do Rio Grande do Sul (RS) e no Uruguai...……... ……..……..…...……...24

Tabela 2: Área sob a curva para os para os modelos SVM, RF e MaxEnt para as 67 espécies de mamíferos analisadas na ecorregião da Savana Uruguaia. Entre parênteses apresentamos o número de localização analisadas para cada espécie...……...…...……... ……...……30

Tabela 3: Indicação da latitude (°) referente ao centro da distribuição geográfica das espécies analisadas – centróide, e os limites dessas distribuições ao Sul e ao Norte na América do Sul, na condição de clima atual e nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC. As células pintadas de vermelho claro possuem uma diminuição ente 1 e 2 graus para latitude norte, as células pintadas de vermelho escuro possuem mudanças uma diminuição de latitude maiores que 2 graus, as células pintadas de azul claro possuem um aumento ente 1 e 2 graus para latitude sul, as células pintadas de azul escuro possuem uma diminuição de latitude maiores que 2 graus para o sul.....……...…….…….. ……...38

Tabela 4: Riqueza espécies de mamíferos na ecorregião da Savana Uruguaia de acordo com suas classificações de habitat, para o clima atual, e em cenários futuros de emissões de gases do efeito estufa intermediário (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5).……... …….....…….....……..…43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR	Arborícola
AUC	Área sob a curva
CCSM4	*Community Climate System Model*
DD	Deficiente de dados
EN	Em perigo
FS	Fossorial
GBIF	Global Biodiversity Information Facility
HadGEM2-ES	*Hadley Global Environment Model 2*
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas
IUCN	União Internacional para a Conservação da Natureza
LC	Pouco preocupante
MIROC-ESM-CHEM	*Model for Interdisciplinary Research on Climate*
NT	Quase ameaçado
PSC	Planejamento Sistemático para Conservação
RCP	Concentração Representativa Caminhos
RF	Restauração Florestal
SA	Semiaquático
SC	Escansorial
SF	Semi-fossorial
SNAP	Sistema Nacional de Áreas Protegidas
SVM	*Support Vector Machines*
TE	Terrestre
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
VO	Voador
VU	Vulnerável

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO……..…..…13

2 REVISÃO DE LITERATURA…….…. ….16

2.1 BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO……..…...…16

2.2 MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES…….…… 17

2.3 ATIVIDADES ANTRÓPICAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS ….....19

3 METODOLOGIA……..……..……22

3.1 ÁREA DE ESTUDO……...……..22

3.2 ESPÉCIES ANALISADAS…….…….22

3.3 DADOS AMBIENTAIS……..…….…..……..28

3.4 MODELAGEM……..……...28

3.5 COMPARAÇÕES ENTRE MODELOS……...29

4 RESULTADOS……...…….30

5 DISCUSSÃO……44

6 CONCLUSÕES…….....……..……...47

7 REFERÊNCIAS……..……....48

1 INTRODUÇÃO

O homem tem usado uma proporção alta dos recursos naturais comparado às demais espécies, sendo vários ecossistemas dominados pela humanidade (Vitousek et al., 1997; Alves, 2012; Elhacham et al. 2020; Folke et al. 2021), sendo que o crescimento econômico é o principal motor da perda de biodiversidade (Rosales, 2008; Fuentes, 2011; Taha et al., 2022). Essa perda se intensifica com o crescimento populacional, levando uma maior procura dos recursos naturais e intensificando os conflitos associados entre a utilização destes recursos e a conservação (Achieng et al., 2023). Essa antropização dos ecossistemas causa a perda da diversidade vegetal (Tilman & Lehman, 2001; Almond et al., 2020; Calambás-Trochez et al., 2021) e animal (Thornes, 2016; Bal & Paital, 2023), sendo a classe dos mamíferos uma das mais ameaçadas (Andermann et al., 2020). Mamíferos com habitat mais fragmentado, áreas de distribuição menores e tamanhos corporais maiores enfrentam o maior risco de extinção (Crooks et al., 2017).

As mudanças climáticas também vêm aumentar o risco de extinção de espécies à medida que a temperatura do ar e a precipitação começam a extrapolar as tolerâncias historicamente observadas das espécies (Urban, 2015; Soroye et al., 2020). Previsões mostram que alterações na precipitação, na temperatura do ar e no número de desastres naturais possuem potencial de aumentar o ritmo de perda da biodiversidade (Habibullah et al., 2022). Já é estimado que as atividades humanas tenham causado um aumento global de temperatura do ar de aproximadamente 1,0°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2023). As espécies, em sua maioria, estão respondendo de forma negativa às mudanças climáticas através de alterações na morfologia e comportamento, fenologia (Scheffers et al., 2016; Radchuk et al., 2019) e na distribuição geográfica (Weiskopf et al., 2020). Esta perda da biodiversidade ainda afeta o armazenamento de carbono nos ecossistemas por meio das modificações na cobertura dos solos, retroalimentando o processo das mudanças climáticas (Malhi et al., 2020).

Para as espécies, a sobrevivência diante das mudanças climáticas dependerá da capacidade de adaptação ao novo clima ou da possibilidade de migrar para habitats com condições climáticas mais propícias (Parmesan & Yohe, 2003; García et al., 2016). As mudanças climáticas impactam a biodiversidade alterando características físicas no habitat, os ciclos de vida, a abundância, os padrões de migração e as áreas geográficas com clima adequados, levando muitas vezes ao aumento na frequência e gravidade de pragas e surtos de

doenças (Sintayehu et al., 2018; Nunez et al., 2019; Habibullah et al., 2022). Entender tanto a direção quanto a magnitude das respostas ecológicas possibilita que as comunidades humanas antevejam essas mudanças e se adaptem de maneira mais eficaz. Para persistir, as espécies muitas vezes devem rastrear climas adequados para novas regiões através da dispersão, colonização e subsequentes mudanças de distribuição (Urban & Swadener, 2016). As questões associadas à redistribuição global de espécies impulsionada pelas mudanças climáticas estão a criar desafios profundos, com os movimentos de espécies já a afetar as sociedades e as economias regionais, desde os trópicos até as regiões polares (Pecl et al., 2017).

Globalmente, o bioma campestre é um dos mais vulneráveis e suscetíveis à degradação ambiental causada pela perda de habitats naturais para a implementação de cultivos exóticos (Bardgett et al., 2021). A ecorregião da Savana Uruguaia, que inclui o Pampa gaúcho e uruguaio (Olson et al, 2001; Lanfranco et al., 2022), possui alta incidência de atividades agropecuárias (Barbosa et al., 2022) e baixa porcentagem de área protegida (Jenkins et al., 2015). Historicamente, esta ecorregião é fortemente utilizada para produção de gado em campo nativo, mas recentemente esta prática tem perdido espaço para plantação de grãos e árvores exóticas (Overbeck et al., 2007; Brazeiro et al., 2020), levando a uma alta taxa de perda de vegetação nativa. Também é necessário considerar que, uma vez que a vegetação nativa remanescente é amplamente utilizada para atividades agropecuárias, áreas que não sofreram substituição da cobertura vegetal nativa não podem ser consideradas áreas livres de interferência humana (Overbeck et al., 2007; Lanfranco et al., 2022).

Adicionalmente, a ecorregião da Savana Uruguaia possui uma área muito pequena formalmente protegida. No Brasil, o bioma Pampa possui aproximadamente 3% de suas áreas protegidas (Jenkins et al., 2015), enquanto no Uruguai, aproximadamente 1% de todo o seu território está em áreas de proteção (Gordano, 2021). Quanto à fauna, a ecorregião da Savana Uruguaia no Brasil possui 81 espécies de mamíferos terrestres (Abreu et al., 2023). Por sua vez, na ecorregião da Savana Uruguaia no Uruguai, temos 114 espécies de mamíferos nativos (Soutullo et al., 2013), entre espécies terrestres e marinhas. No Brasil, esta fauna está severamente ameaçada, sendo que o bioma Pampa é o segundo entre os biomas terrestres em porcentagem de espécies ameaçadas (Costa et al., 2005), situação que pode ser muito semelhante no Uruguai.

Considerando a importância e a vulnerabilidade das Savanas Uruguaias e de suas espécies de mamíferos, e visando investigar o impacto das mudanças climáticas nesta ecorregião, este trabalho tem por objetivo analisar o impacto das mudanças climáticas sobre a distribuição de áreas adequadas para mamíferos ameaçados e/ou com distribuição restrita na ecorregião da Savana Uruguaia, que incluem os campos do Rio Grande do Sul e do Uruguai.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 BIOLOGIA DA CONSERVAÇÃO

A Biologia da Conservação surgiu como uma resposta às crises ambientais, visando entender os impactos antrópicos e buscar soluções para promover a preservação da biodiversidade (Soulé, 1985; Van Dyke et al., 2020). Estes objetivos não são simples. A conservação da biodiversidade é permeada pelas complexidades intrínsecas aos sistemas naturais, que são magnificadas pelas dimensões sociais, políticas, econômicas, culturais e tantas outras (Faleiro et al., 2013). Dentro da Biologia da Conservação, abriu-se espaço para que fossem abordadas questões bastante profundas, planejando a conservação da biodiversidade utilizando métodos científicos e, ao mesmo tempo, lidando com questões do "mundo real", envolvendo interesses humanos e a importância de gerir a natureza, tornando a conservação da biodiversidade uma tarefa complexa (Franco, 2013).

As unidades de conservação são consideradas a forma mais eficiente de proteção da biodiversidade (Whitelaw et al., 2014; Hermoso et al., 2016). Contudo, a conservação atualmente não pode só considerar a preservação e restauração dos ecossistemas, uma vez que não é mais possível separar os sistemas naturais dos sistemas humanos (Corlett, 2015). A interação homem-natureza é importante para que seja possível encontrar alternativas de realizar uma conservação bem sucedida e que atenda a necessidade da crise da biodiversidade e do bem-estar humano (Toivonen et al., 2019). Na esteira dessa discussão, abre-se caminho para diferentes estratégias de conservação, como por exemplo os métodos *land sharing* e *land sparing* de conciliação das práticas agrícolas com a preservação da biodiversidade. A primeira se refere a métodos de produção de alimento menos agressivos para a biodiversidade e o segundo se refere em separar áreas de intensa produção de alimentos e áreas completamente preservadas, sem influência humana (Fischer et al., 2014; Kremen, 2015). Ambos métodos apresentam suas vantagens, e atualmente as orientações são, em sua maioria, de conciliação desses métodos (Michael et al., 2016; Meli et al., 2019; Grass et al., 2021).

Apesar do avanço científico da Biologia da Conservação, os sistemas naturais ainda estão perdendo biodiversidade em virtude da ação antrópica (Giam, 2017; Benkwitt et al., 2020, De Lima et al., 2021). Um problema para conter a perda de biodiversidade é a falta de integração da biodiversidade nas políticas públicas (Rounsevell et al., 2020). No Brasil, por exemplo, é proibido deliberadamente causar a extinção de uma espécie (Fearnside, 2021).

Contudo, na prática, o atual Código Florestal do Brasil não é eficiente e não se adapta às necessidades de preservação dos biomas (Ramos et al., 2023), sendo necessário alguns fatores fundamentais para realmente alcançarmos a preservação das espécies e ecossistemas, pois já foi demonstrado que a boa governança, como o controle da corrupção e o Estado de direito, é capaz de reduzir a perda da biodiversidade (Habibullah et al., 2022).

Existe a premente necessidade de encontrar estratégias que possam garantir a conservação das espécies e o funcionamento dos ecossistemas em longo prazo (Halffter, 2005; Ott & Bordin, 2021), sendo o objetivo principal das Unidades de Conservação proteger habitats e espécies vulneráveis das pressões antrópicas (Possingham et al., 2006). No Brasil, as Unidades de Conservação são a forma mais difundida de proteção da biodiversidade (Fonseca & Venticinque, 2018). Globalmente, a riqueza de espécies é 10,6% maior e a abundância 14,5% maior em amostras de biodiversidade coletadas dentro de áreas protegidas em comparação com amostras coletadas fora (Gray et al., 2016). Contudo, as mudanças climáticas podem impactar a biodiversidade dentro dessas áreas protegidas, uma vez que potencialmente o clima nestes locais pode se tornar inadequado para as espécies ali presentes (Araújo et al., 2011; Ribeiro et al., 2016)

2.2MODELAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DE ESPÉCIES

Para prever as respostas da biodiversidade a vários fatores de mudança, muitos estudos recorrem a modelos e aplicam suas conclusões na conservação, gestão e avaliação de riscos, sendo esta estratégia uma forma de estabelecer uma relação entre a teoria e a prática (Guisan et al., 2013). A modelagem de distribuição de espécies surgiu quando os novos métodos estatísticos de estudos de habitat baseados em campo foram ligados a camadas ambientais baseadas em Sistemas de Informação Geográfica (Elith & Leathwick, 2009). A modelagem de distribuição analisa a ocorrência da espécie relacionando com variáveis ambientais por meio de modelos mecânicos ou correlativos de presença e/ou ausência da espécie (Franklin, 2009).

O Bioclim foi o primeiro modelo de distribuição de espécies a ser criado (Franklin, 2009). Seu desenvolvimento teve seu início na década de 1960, utilizando a mobilização de dados locais e de espécimes, juntamente com a estimativa de dados climáticos e a construção de conjuntos de dados climáticos primários, no entanto os usuários só tiveram acesso no ano de 1984 (Booth et al., 2014). Porém, diferente do Bioclim onde o hiperespaço n-dimensional é definido em termos de intervalos simples (Booth et al., 2014), o modelo usando o *MaxEnt*

produz uma curva de resposta para as variáveis ambientais demonstrando quais delas são mais importantes dentro da análise (Elith et al., 2011). A utilidade e facilidade de utilização do *MaxEnt* são as principais razões pelas quais os modelos de distribuição de espécies se tornaram uma ferramenta ativa de pesquisa para diversas aplicações em conservação ecológica e biogeografia (Kaky et al., 2020).

As análises das mudanças climáticas contam com os modelos de nicho ecológico como ferramenta essencial, permitindo projeções. Esses modelos incluem descrições do nicho em termos de curvas de resposta e classificações de importância variável (Searcy & Shaffer, 2016). A modelagem de nicho climático é uma ferramenta amplamente empregada para prever as respostas às mudanças climáticas. Por meio da modelagem ecológica fornece mecanismos com a capacidade de projetar, compreender e prever a perda de biodiversidade e seus danos aos ecossistemas causados pelas mudanças climáticas, sendo também capaz de ajudar a compreender o funcionamento da natureza em relação à sustentabilidade a longo prazo (Urban et al., 2016). Os estudos se concentram especialmente em compreender as mudanças na localização das espécies, visando entender os impactos resultantes dentro dos ecossistemas e as medidas que podem ser tomadas para minimizar e conter os impactos das perdas e ganhos de espécies dentro dos habitats (Loyola et al., 2012; Newbold, 2018; Malakotikhah et al., 2020; Sales et al., 2020; Weiskopf et al., 2020; Melbourne-Thomas et al., 2021; Biber et al., 2023; Britnell et al., 2023).

O *Support Vector Machine* (SVM) é uma ferramenta de classificação e regressão que usa a teoria de aprendizagem para maximizar a precisão das suas previsões. Este algoritmo é treinado com um algoritmo de aprendizagem da teoria da otimização que implementa um viés de aprendizagem derivado de teoria da aprendizagem estatística (Jakkula, 2006). *O Random Forest* (RF) é um método de aprendizagem conjunto para classificação e regressão; é uma combinação de preditores de árvores tais que cada árvore depende dos valores de um vetor aleatório amostrado de forma independente e com a mesma distribuição para todas as árvores nas florestas (Jing et al., 2015). No modo de previsão, um modelo de RF calibrado consiste em um conjunto de árvores de classificação, cada uma das quais tem direito a um voto para a previsão do modelo. A previsão mais votada de todas as árvores na floresta aleatória torna-se o modelo final de predição (Gaál et al., 2012). O *MaxEnt*, também um algoritmo de aprendizagem de máquina, tem bastante eficácia para modelar a distribuição de espécies utilizando apenas dados de presença (Elith et al., 2006). Este calcula a associação entre as espécies e o ambiente considerando que o valor das variáveis ambientais nas áreas de

distribuição estimada deve ser similar aos valores médios observados nos pontos de ocorrência disponíveis (Phillips et al., 2006).

2.3 ATIVIDADES ANTRÓPICAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As preocupações do desenvolvimento econômico são entendidas como ponto essencial para a humanidade, resultando em um cenário onde as atividades antrópicas causam, de maneira exacerbada, perda, degradação e fragmentação dos habitats (Scanes, 2018). A perda de habitat em virtude de atividades de agropecuária e para crescimento urbano são as ameaças mais expressivas para a biodiversidade (Bai et al., 2019). Para conter a perda de habitats é necessário melhorar o planejamento e regulação do uso da terra, sendo necessário investir na proteção e restauração dos habitats que estão em maior risco (Mantyka-Pringle et al., 2015). Outra problemática ambiental grave está relacionada com a introdução de espécies exóticas. As espécies exóticas podem causar uma homogeneidade na biota, perda da diversidade genética e funcional e perturbação dos serviços ecossistêmicos. Ainda, o potencial negativo das espécies exóticas invasoras poderá ser favorecido com as mudanças climáticas (Bellard et al., 2018).

Uma das consequências mais graves das atividades antrópicas está relacionada a emissão de gases do efeito estufa, levando a um aumento nos níveis de CO_2 atmosférico, aumento da temperatura, degelo do *permafrost*, aumento da seca em alguns locais e maiores índices de precipitação em outros, com inundações mais frequentes e aumento na intensidade do fogo (Jansson & Hofmockel, 2020). As mudanças climáticas causam alterações bastante graves na precipitação e temperatura do ar, gerando ondas de calor e aumento no nível do mar (Pacifici et al., 2015). Na Amazônia, por exemplo, os efeitos combinados da mudança no uso da terra e das mudanças climáticas resultaram em redução média anual da precipitação de 44% e em aumento de 69% na duração da estação seca (Bottino et al., 2024). Os aumentos na variabilidade das chuvas esperados no futuro terão impactos substanciais na produtividade primária e nos serviços de abastecimento de ecossistemas fornecidos pelas florestas e sistemas agroflorestais (Thornton et al., 2014). É importante ressaltar que os impactos negativos das mudanças climáticas têm uma tendência a se concentrar em áreas de maior vulnerabilidade socioeconômica, de clima mais quente e menores valores de altitude (Tol, 2018).

Em relação à biodiversidade, as mudanças climáticas e a alteração da cobertura do solo incapacitarão, em 2050, 43% das aves e 24% dos mamíferos, principalmente em áreas onde as mudanças climáticas levarão a um aumento de temperatura do ar (Mantyka-Pringle et al., 2015). Também é previsto que 34% dos animais terrestres, 46% dos animais marinhos, 100% das espécies insulares e 84% das espécies montanhosa que possuem distribuição restrita enfrentarão elevado risco de extinção (Manes et al., 2021). O aquecimento dos oceanos, por exemplo, impulsionará a redistribuição de espécies em uma escala global, indo em direção aos polos e modificando os sistemas ecológicos marinhos (Melbourne-Thomas et al., 2021). As espécies terrestres possuem uma resposta mais lenta que as espécies marinhas, em relação às mudanças de temperatura do ar, pela sua margem de segurança térmica ser maior, além de o ambiente terrestre possuir mais barreiras geográficas, dificultando as espécies terrestres de perseguirem os novos locais de clima adequados para sua ocorrência (Leonir et al., 2020). Assim, mesmo que os grandes mamíferos e os pequenos mamíferos ainda tenham locais com clima adequado para sua ocorrência no futuro, isso não garante que todas essas espécies conseguirão ter acesso a esses locais (Hetem et al., 2014).

Para o Brasil, estudos apontam para um grande impacto das mudanças climáticas para os mamíferos. Na Mata Atlântica, mais de 30% das espécies perderão 95% de seus espaços climáticos, e aproximadamente 73% das espécies perderão pelo menos 50% de seus espaços climáticos, sendo que estes efeitos podem ser amenizados, reduzindo o desmatamento e investindo em projetos de restauração florestal (De Oliveira et al., 2024). Na Caatinga, os pequenos mamíferos sofrerão mudanças no seu espaço climático adequado, uma vez que este bioma ficará mais quente e seco, sendo mais atingidas as espécies que ficam nas áreas mais altas ou de transição (Da Costa-Pinto et al., 2024). No Cerrado, espera-se que os mamíferos terrestres de médio e grande porte tenham a sua riqueza reduzida no futuro de maneira desigual dentro do bioma. No entanto é indicado que até 138 espécies de outros biomas podem potencialmente imigrar para o Cerrado (Hidasi-Neto et al., 2019). Já na Amazônia, espera-se que cerca de 85% dos mamíferos terrestres estarão expostos a condições climáticas que excedem a variabilidade climática que estas espécies estão expostas atualmente em mais de 80% de suas áreas de distribuição, sendo que as espécies com distribuição restrita serão as mais afetadas (Ribeiro et al., 2016). Também é importante ressaltar que as modificações da fauna irão provavelmente interagir com as mudanças induzidas pela seca e pelo fogo nas florestas tropicais, transformando várias em savanas, fenômeno chamado de savanização (Sales et al., 2020).

Na ecorregião da Savana Uruguaia está uma das áreas mais ricas em biodiversidade campestre do mundo. No entanto, nesta área a produção agrícola e a conservação da biodiversidade competem por terra (Da Silva et al., 2015). No Uruguai, apesar de ainda possuir mais da metade de seu território coberto com vegetação nativa, essa cobertura tem sofrido perdas nos últimos anos, especialmente para a produção de árvores de interesse madeireiro (Baeza et al. 2022). No Brasil, nos campos do Rio Grande do Sul, a situação é um pouco pior, com menos de 35% de cobertura de vegetação nativa, contudo, aqui a soja figura como protagonista para a perda de vegetação campestre, juntamente com as árvores exóticas (Baeza et al. 2022).

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O bioma Pampa ocupa uma área de mais de 750.000 km^2 abrangendo três países da América do Sul: Brasil, Uruguai e Argentina. Dentro do Pampa temos várias ecorregiões, sendo a ecorregião que ocorre no Pampa Brasileiro, estado do Rio Grande do Sul, e no Pampa Uruguaio, chamada de ecorregião da Savana Uruguaia. A paisagem é formada predominantemente de planícies e sistemas serranos de baixa altitude, apresentando solos rasos. Quanto à vegetação, esta é predominantemente composta por gramíneas mesófilas subtropicais, possuindo vegetação florestal principalmente nas matas ciliares e na parte norte da ecorregião, ou seja, na transição ao bioma Mata Atlântica.

O clima é subtropical úmido, com verões com a temperaturas do ar variando entre 28 a 33ºC e no inverno com temperaturas variando entre 12 e 19ºC no período do dia. No entanto, no verão a temperatura pode se elevar próximo aos 40ºC em virtude das massas de ar tropical e no período do inverno a temperatura pode baixar para próximos dos 5ºC em virtude das massas de ar polar. A precipitação da ecorregião da Savana Uruguaia anual tem uma média 1200 mm (Verdum et al, 2019).

3.2 ESPÉCIES ANALISADAS

Espécies de mamíferos ameaçadas e mamíferos de distribuição restrita foram selecionadas, primeiramente, usando os polígonos de distribuição da União Internacional para Conservação da Natureza (IUCN). Primeiramente, foram selecionadas todas as espécies de mamíferos em uma distância de até 200 km do limite geográfico da Savana Uruguaia. Esta distância de 200 km foi escolhida para abrigar espécies que potencialmente podem vir a ocorrer na área estudada dentro da janela temporal de estudo, ou seja, até 2017. Portanto, estamos considerando todas as espécies que vivem hoje nesta ecorregião e as que podem potencialmente viver nesta área em um futuro próximo, enquanto, teoricamente, se movem para encontrar um clima mais adequado. Esta lista de espécies de mamíferos elegíveis foi então verificada quanto ao seu estado de conservação tanto globalmente, usando as avaliações da IUCN, quanto localmente, usando a lista vermelha de espécies ameaçadas do Uruguai

(Soutullo et al., 2013) e a lista vermelha de espécies ameaçadas do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Decreto nº51.797, 2014). Mantemos para análise posterior, todas as espécies classificadas como Quase Ameaçadas, Ameaçadas ou como Deficiente em Dados em pelo menos uma dessas listas. Além disso, espécies de distribuição restrita também foram mantidas para análise posterior. Consideramos como espécies de distribuição restrita aquelas que tiveram sua distribuição menor que a mediana do tamanho da distribuição das espécies de mamíferos da nossa primeira lista de espécies.

Foram utilizados os dados de ocorrência obtidos em fontes de dados como o *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF*)*, SpeciesLink, VertNet e MaNIS, através da literatura científicas (data paper e artigos publicados com os pontos de ocorrência da espécies de interesse). Os pontos de ocorrência foram tratados e os que fossem duplicados e/ou errôneos, como por exemplo posicionados na coordenada (0° S, 0° W), foram removidos. Foram selecionadas as espécies que possuíssem pelo menos 30 pontos de ocorrência independente. Após a filtragem foram selecionadas 67 espécies de mamíferos (Tabela 1).

As espécies foram classificadas de acordo com a sua dieta e locomoção (Paglia et al., 2012; De Moraes et al., 2023), sendo divididos em mamíferos com dieta predominantemente carnívora (n = 41) e mamíferos com dieta predominantemente herbívora (n = 26). Para a locomoção, foram sete grupos: Arborícola (Ar, n = 8), Fossorial (FS, n = 4), Semiaquático (Sa, n = 2), Escansorial (Sc, n = 3), Semi-fossorial (Sf, n = 6), Terrestre (Te, n = 28) e Voador (Vo, n = 16). Quanto ao grau de ameaça global, a maior parte das espécies se enquadra como Pouco Preocupante (LC, n = 37), seguidas pelas espécies Quase Ameaçadas (NT, n = 13), Deficiente em Dados (DD, n = 8), Vulnerável (VU, n = 7) e por fim, Em Perigo (EN, n = 2).

Tabela 1: Espécies de mamíferos analisadas quanto ao seu nicho climático ocorrente na ecorregião da Savana Uruguaia, sua classificação em nível de ordem, massa corporal (g), habitat preferencial, dieta predominante, modo de locomoção e grau de ameaça global, no estado do Rio Grande do Sul (RS) e no Uruguai.

Espécie	Ordem	Massa (g)	Habitat	Dieta	Locomoção *	Grau de Ameaça global **	Grau de Ameaça no RS **	Grau de Ameaça no Uruguai **
Cryptonanus chacoensis	Didelphimorphia	16	Campestre	Carnívoro	Ar	LC	LC	EN
Calomys tener	Rodentia	20	Campestre	Herbívoro	Te	LC	DD	LC
Deltamys kempi	Rodentia	26	Campestre	Carnívoro	Te	LC	LC	LC
Necromys obscurus	Rodentia	48	Campestre	Carnívoro	Te	LC	LC	EN
Reithrodon typicus	Rodentia	85	Campestre	Herbívoro	Te	LC	DD	LC
Ctenomys pearsoni	Rodentia	210	Campestre	Herbívoro	Fs	NT	LC	EN
Ctenomys flamarioni	Rodentia	240	Campestre	Herbívoro	Fs	EN	EN	LC
Ctenomys minutus	Rodentia	240	Campestre	Herbívoro	Fs	DD	LC	LC
Ctenomys torquatus	Rodentia	240	Campestre	Herbívoro	Fs	LC	LC	LC
Leopardus colocolo	Carnivora	3500	Campestre	Carnívoro	Te	NT	EN	EN
Leopardus geoffroyi	Carnivora	4000	Campestre	Carnívoro	Te	LC	VU	LC
Chrysocyon brachyurus	Carnivora	22000	Campestre	Carnívoro	Te	NT	CR	EN
Ozotoceros bezoarticus	Cetartiodactyla	35000	Campestre	Herbívoro	Te	NT	CR	EN
Blastocerus dichotomus	Cetartiodactyla	100000	Campestre	Herbívoro	Te	VU	CR	EN
Eptesicus diminutus	Chiroptera	6	Florestal	Carnívoro	Vo	LC	DD	EN
Myotis riparius	Chiroptera	6	Florestal	Carnívoro	Vo	LC	LC	EN
Molossops temminckii	Chiroptera	7	Florestal	Carnívoro	Vo	LC	LC	EN
Myotis ruber	Chiroptera	7	Florestal	Carnívoro	Vo	NT	LC	LC
Vampyressa pusilla	Chiroptera	8	Florestal	Herbívoro	Vo	DD	DD	LC

Espécie	Ordem	Massa (g)	Habitat	Dieta	Locomoção *	Grau de Ameaça global **	Grau de Ameaça no RS **	Grau de Ameaça no Uruguai **
Eumops patagonicus	Chiroptera	12	Florestal	Carnívoro	Vo	LC	LC	EN
Sturnira lilium	Chiroptera	21	Florestal	Herbívoro	Vo	LC	LC	EN
Platyrrhinus lineatus	Chiroptera	22	Florestal	Herbívoro	Vo	LC	LC	EN
Brucepattersonius iheringi	Rodentia	25	Florestal	Carnívoro	SF	LC	LC	LC
Promops centralis	Chiroptera	26	Florestal	Carnívoro	Vo	LC	LC	EN
Tonatia bidens	Chiroptera	27	Florestal	Carnívoro	Vo	DD	LC	LC
Gracilinanus microtarsus	Didelphimorphia	32	Florestal	Carnívoro	Ar	LC	DD	LC
Molossus rufus	Chiroptera	36	Florestal	Carnívoro	Vo	LC	LC	EN
Cynomops abrasus	Chiroptera	46	Florestal	Carnívoro	Vo	DD	LC	LC
Eumops perotis	Chiroptera	66	Florestal	Carnívoro	Vo	LC	DD	LC
Monodelphis iheringi	Didelphimorphia	110	Florestal	Carnívoro	Te	DD	DD	LC
Marmosa paraguayana	Didelphimorphia	190	Florestal	Carnívoro	Ar	LC	VU	LC
Caluromys lanatus	Didelphimorphia	435	Florestal	Herbívoro	Ar	LC	DD	LC
Philander frenatus	Didelphimorphia	450	Florestal	Carnívoro	Sc	LC	NT	LC
Sylvilagus brasiliensis	Lagomorfo	1200	Florestal	Herbívoro	Te	EN	EN	LC
Leopardus guttulus	Carnivora	2400	Florestal	Carnívoro	Te	VU	VU	LC
Dasyprocta azarae	Rodentia	2900	Florestal	Herbívoro	Te	DD	VU	LC
Sapajus nigritus	Primates	3700	Florestal	Herbívoro	Ar	NT	NT	LC
Nasua nasua	Carnivora	5100	Florestal	Herbívoro	Te	LC	VU	EN
Alouatta guariba	Primates	5625	Florestal	Herbívoro	Ar	VU	VU	LC
Leopardus wiedii	Carnivora	6000	Florestal	Carnívoro	Sc	NT	VU	EN

Espécie	Ordem	Massa (g)	Habitat	Dieta	Locomoção *	Grau de Ameaça global **	Grau de Ameaça no RS **	Grau de Ameaça no Uruguai **
Alouatta caraya	Primates	6000	Florestal	Herbívoro	Ar	NT	EN	LC
Eira barbara	Carnivora	7000	Florestal	Carnívoro	Te	LC	VU	LC
Cuniculus paca	Rodentia	9300	Florestal	Herbívoro	Te	LC	VU	EN
Leopardus pardalis	Carnivora	13500	Florestal	Carnívoro	Te	LC	VU	EN
Mazama nana	Cetartiodactyla	17500	Florestal	Herbívoro	Te	VU	EN	LC
Pecari tajacu	Cetartiodactyla	26000	Florestal	Herbívoro	Te	LC	EN	EN
Tayassu pecari	Cetartiodactyla	35000	Florestal	Herbívoro	Te	VU	CR	LC
Mazama americana	Cetartiodactyla	36000	Florestal	Herbívoro	Te	DD	EN	LC
Panthera onca	Carnivora	100000	Florestal	Carnívoro	Te	NT	CR	EN
Tapirus terrestris	Perissodactyla	260000	Florestal	Herbívoro	Te	VU	CR	LC
Myotis nigricans	Chiroptera	6	Generalista	Carnívoro	Vo	LC	LC	EN
Histiotus velatus	Chiroptera	13	Generalista	Carnívoro	Vo	DD	LC	EN
Noctilio leporinus	Chiroptera	68	Generalista	Carnívoro	Vo	LC	LC	EN
Euryzygomatomys spinosus	Rodentia	185	Generalista	Herbívoro	SF	LC	DD	LC
Coendou spinosus	Rodentia	1800	Generalista	Herbívoro	Ar	LC	LC	EN
Dasypus hybridus	Cingulata	2000	Generalista	Carnívoro	SF	NT	DD	EN
Dasypus septemcinctus	Cingulata	2000	Generalista	Carnívoro	SF	LC	DD	LC
Galictis cuja	Carnivora	2000	Generalista	Carnívoro	Te	LC	DD	LC
Dasypus novemcinctus	Cingulata	3650	Generalista	Carnívoro	SF	LC	LC	EN
Tamandua tetradactyla	Pilosa	5200	Generalista	Carnívoro	Sc	LC	VU	EN
Cabassous tatouay	Cingulata	5350	Generalista	Carnívoro	SF	LC	DD	EN

Espécie	Ordem	Massa (g)	Habitat	Dieta	Locomoção *	Grau de Ameaça global **	Grau de Ameaça no RS **	Grau de Ameaça no Uruguai **
Speothos venaticus	Carnivora	6000	Generalista	Carnívoro	Te	NT	LC	LC
Herpailurus yagouaroundi	Carnivora	7000	Generalista	Carnívoro	Te	NT	VU	LC
Myrmecophaga tridactyla	Pilosa	35000	Generalista	Carnívoro	Te	VU	CR	EN
Puma concolor	Carnivora	60000	Generalista	Carnívoro	Te	LC	EN	EN
Chironectes minimus	Didelphimorphia	425	Semiaquática	Carnívoro	AS	LC	VU	EN
Lontra longicaudis	Carnivora	6000	Semiaquática	Carnívoro	AS	NT	NT	LC

*Arborícola =Ar, Fossorial = FS, Semiaquático = Sa, Escansorial = Sc, Semi-fossorial = Sf, Terrestre = Te, e Voador = Vo. ** Pouco Preocupante = LC, Quase Ameaçadas = NT, Deficiente em Dados = DD, Vulnerável = VU e Em Perigo = EN.

3.3 DADOS AMBIENTAIS

Foram obtidas, junto ao banco de dados *Worldclim* 19 variáveis bioclimáticas. Destas, foram selecionadas oito variáveis bioclimáticas buscando diminuir a correlação entre estas. Usando uma matriz de correlação foram selecionadas as variáveis selecionadas foram: BIO2 (Faixa Diurna Média de temperatura - Média mensal), BIO3 (Isotérmica), BIO8 (Temperatura média do trimestre mais úmido), BIO13 (Precipitação do mês mais chuvoso), BIO14 (Precipitação do Mês Mais Seco), BIO15 (Sazonalidade da Precipitação), BIO18 (Precipitação do trimestre mais quente) e BIO19 (Precipitação do trimestre mais frio). Também foram usadas como preditoras da distribuição geográfica as seguintes variáveis: ocorrência anual de incêndios (fonte: NASA); altitude (FAO); densidade de gado (FAO); disponibilidade de nutrientes no solo (FAO) e condições de enraizamento da vegetação (FAO). Estas variáveis foram incluídas buscando incorporar outras características importantes do meio para a distribuição das espécies, com ênfase para as variáveis que podem influenciar o aumento da ocorrência de florestas na ecorregião, que seria um potencializador da modificação da área de ocorrência dos mamíferos.

Foram utilizados dados climáticos para o "clima atual", construídos para os anos de 1970 - 2000, e condições futuras para o ano de 2070. Para as projeções futuras foram utilizados três modelos de circulação global, CCSM4 (*Community Climate System Model*), HadGEM2-ES (*Hadley Global Environment Model 2)* e MIROC-ESM-CHEM (*Model for Interdisciplinary Research on Climate*). Como cenários climáticos usamos um cenário intermediário para emissões de gases do efeito estufa - RCP 4.5 e um cenário mais pessimista para emissões de gases do efeito estufa - RCP 8.5.

3.4 MODELAGEM

Para a modelagem do nicho climático, foram usados três algoritmos, *Support Vector Machine* (SVM), *Random Forest* (RF) e *MaxEnt*. Para cada um dos algoritmos, os modelos foram construídos utilizando 80% dos pontos de ocorrência, sendo que 20% dos pontos foram utilizados como dados de teste, ou seja, não foram usados para construir o modelo, mas sim

para avaliação do desempenho deste em prever a ocorrência da espécie. A avaliação do desempenho do Modelo foi calculada pela *Area Under the Curve* (AUC). Os mapas gerados foram classificados quanto ao seu desempenho e depois foi gerado um mapa de consenso para cada espécie para o clima atual, e dois mapas para o clima em 2070, considerando os dois cenários climáticos (RCP 4.5 e RCP 8.5), com os três modelos de circulação global e com os três algoritmos.

3.5 COMPARAÇÕES ENTRE MODELOS

Os mapas da distribuição das espécies em 2070, nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, foram comparados com o mapa predito para o clima atual considerando: tamanho total da distribuição geográfica da espécie; porcentagem da ecorregião da savana uruguaia que é ocupada por cada espécie; centróide da distribuição geográfica, limite sul da distribuição geográfica e limite norte da distribuição geográfica; e riqueza de espécies considerando o grau de ameaça das espécies por tipo de habitat.

4 RESULTADOS

Os modelos gerados obtiveram, em geral, resultados satisfatórios com médias acima de 0,8 e quanto AUC para os três algoritmos utilizados (Tabela 2). Para o algoritmo SVM, a média do valor de AUC foi de 0,848 ± 0,099, para o algoritmo RF, a média foi de 0,950 ± 0,048 e, por fim, para o algoritmo *MaxEnt* foi de 0,917 ± 0,66.

Tabela 2: Área sob a curva para os para os modelos SVM, RF e *MaxEnt* para as 67 espécies de mamíferos analisadas na ecorregião da Savana Uruguaia. Entre parênteses apresentamos o número de localização analisadas para cada espécie.

Habitat	Espécie	Área sob a curva (AUC)		
		SVM	RF	*MaxEnt*
Campestre	*Cryptonanus chacoensis* (N = 32)	0,7768	0,9609	0,9818
	Calomys tener (N = 86)	0,9059	0,9707	0,9617
	Deltamys kempi (N = 43)	0,9623	0,9777	0,9854
	Necromys obscurus (N = 38)	0,9373	0,9885	0,9884
	Reithrodon typicus (N = 42)	0,8503	0,9986	0,9941
	Ctenomys pearsoni (N = 31)	1,0000	1,0000	0,9990
	Ctenomys flamarioni (N = 32)	0,9996	0,9998	0,9996
	Ctenomys minutus (N = 36)	0,9997	1,0000	1,0000
	Ctenomys torquatus (N = 58)	0,9909	0,9953	0,9923
	Leopardus colocolo (N = 113)	0,9211	0,9531	0,9397
	Leopardus geoffroyi (N = 403)	0,9147	0,9828	0,9696
	Chrysocyon brachyurus (N = 213)	0,9292	0,9685	0,9425
	Ozotoceros bezoarticus (N = 54)	0,8572	0,9864	0,9344
	Blastocerus dichotomus (N = 74)	0,9827	0,9779	0,9808
Florestal	*Eptesicus diminutus* (N = 47)	0,6973	0,6979	0,8693
	Myotis riparius (N = 200)	0,7744	0,9053	0,8399
	Molossops temminckii (N = 136)	0,8313	0,9219	0,9311
	Myotis ruber (N = 42)	0,6412	0,9496	0,8756
	Vampyressa pusilla (N = 57)	0,9611	0,9811	0,9779
	Eumops patagonicus (N = 39)	0,8717	0,9514	0,9071

Habitat	Espécie	Área sob a curva (AUC)		
		SVM	RF	*MaxEnt*
	Sturnira lilium (N = 351)	0,9018	0,9638	0,9559
	Platyrrhinus lineatus (N = 207)	0,9133	0,9489	0,9121
	Brucepattersonius iheringi (N = 32)	0,9021	0,9287	0,9549
	Promops centralis (N = 30)	0,7168	0,8962	0,8869
	Tonatia bidens (N = 30)	0,6736	0,9180	0,9145
	Gracilinanus microtarsus (N = 114)	0,9677	0,9939	0,9754
	Molossus rufus (N = 192)	0,7897	0,8951	0,8413
	Cynomops abrasus (N = 39)	0,8672	0,9383	0,8487
	Eumops perotis (N = 42)	0,7781	0,8533	0,7960
	Monodelphis iheringi (N = 31)	0,9271	0,9968	0,9961
	Marmosa paraguayana (N = 100)	0,8929	0,9903	0,9773
	Caluromys lanatus (N = 112)	0,7089	0,9436	0,9179
	Philander frenatus (N = 137)	0,9421	0,9944	0,9848
	Sylvilagus brasiliensis (N = 331)	0,8274	0,9463	0,8882
	Leopardus guttulus (N = 263)	0,9615	0,9978	0,9921
	Dasyprocta azarae (N = 144)	0,8481	0,9634	0,9451
	Sapajus nigritus (N = 119)	0,9401	0,9937	0,9896
	Nasua nasua (N = 461)	0,7592	0,9292	0,8468
	Alouatta guariba (N = 111)	0,9762	0,9873	0,9848
	Leopardus wiedii (N = 595)	0,8294	0,9182	0,8784
	Alouatta caraya (N = 150)	0,9046	0,9815	0,9740
	Eira barbara (N = 385)	0,8236	0,9446	0,8865
	Cuniculus paca (N = 459)	0,7891	0,9504	0,8581
	Leopardus pardalis (N = 371)	0,7604	0,9011	0,8211
	Mazama nana (N = 52)	0,9528	0,9991	0,9974
	Pecari tajacu (N = 297)	0,6383	0,9197	0,8264
	Tayassu pecari (N = 186)	0,7024	0,9072	0,8581
	Mazama americana (N = 265)	0,7453	0,9213	0,8500
	Panthera onca (N = 257)	0,7693	0,8872	0,8582
	Tapirus terrestris (N = 261)	0,7656	0,8927	0,8018

Habitat	Espécie	Área sob a curva (AUC)		
		SVM	RF	*MaxEnt*
Generalista	*Myotis nigricans* (N = 569)	0,8255	0,9245	0,8363
	Histiotus velatus (N = 78)	0,8710	0,9754	0,9745
	Noctilio leporinus (N = 162)	0,8364	0,9054	0,8205
	Euryzygomatomys spinosus (N = 30)	0,9121	0,9993	0,9928
	Coendou spinosus (N = 30)	0,9825	0,9949	0,9897
	Dasypus hybridus (N = 476)	0,8765	0,9917	0,9687
	Dasypus septemcinctus (N = 366)	0,8568	0,9631	0,8309
	Galictis cuja (N = 366)	0,8779	0,9721	0,9478
	Dasypus novemcinctus (N = 3172)	0,8474	0,9651	0,8452
	Tamandua tetradactyla (N = 2768)	0,8080	0,9521	0,8247
	Cabassous tatouay (N = 388)	0,9453	0,9908	0,9683
	Speothos venaticus (N = 202)	0,6726	0,9076	0,8147
	Herpailurus yagouaroundi (N=926)	0,7152	0,9315	0,8232
	Myrmecophaga tridactyla (N =2506)	0,8189	0,9573	0,8291
	Puma concolor (N = 562)	0,7260	0,8979	0,8424
Semiaquático	*Chironectes minimus* (N = 121)	0,7043	0,9293	0,9305
	Lontra longicaudis (N = 408)	0,7733	0,9488	0,9123

Considerando toda a extensão do continente sul-americano, houve um padrão predominante de aumento das áreas adequadas para as espécies de mamíferos analisadas dentro do cenário RCP 4.5 (Figura 1). Quando comparado com o clima atual, 44 das 67 espécies de mamíferos terão um aumento nas suas áreas adequadas em 2070. Contudo, para as espécies campestres, o padrão predominante é de redução nas suas áreas adequadas, sendo este o resultado para 9 das 14 espécies estudadas. Logo, para as demais classificações de habitat - espécies florestais, generalistas e semiaquáticas - o padrão é de aumento nas áreas adequadas: 27 das 36 espécies florestais aumentaram suas áreas adequadas, 10 das 15 espécies generalistas e ambas as espécies semiaquáticas. A espécie que possui maior expansão de suas áreas adequadas é o Cachorro Vinagre (*Speothos venaticus*). Por outro lado, a espécie que terá maior redução nas suas áreas adequadas é o Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*).

Também houve um padrão predominante de aumento das áreas adequadas para as espécies de mamíferos analisadas dentro do cenário RCP 8.5, quando comparado com o clima atual, 42 das 67 espécies de mamíferos terão um aumento nas suas áreas adequadas para 2070. Contudo, para as espécies campestres, o padrão predominante é de redução nas suas áreas adequadas, sendo este o resultado para 10 das 14 espécies. Logo, para as demais classificações de habitat - espécies florestais generalista e semiaquática - o padrão é de aumentar nas áreas adequadas: 27 das 36 espécies florestais aumentam suas áreas adequadas, nove das 15 espécies generalistas e ambas as espécies semiaquáticas. A espécie que possui maior extensão de suas áreas adequadas é o Morcego Negro (*Myotis nigricans*). Por outro lado, a espécie que terá maior redução nas suas áreas adequadas é, mais uma vez, o Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*).

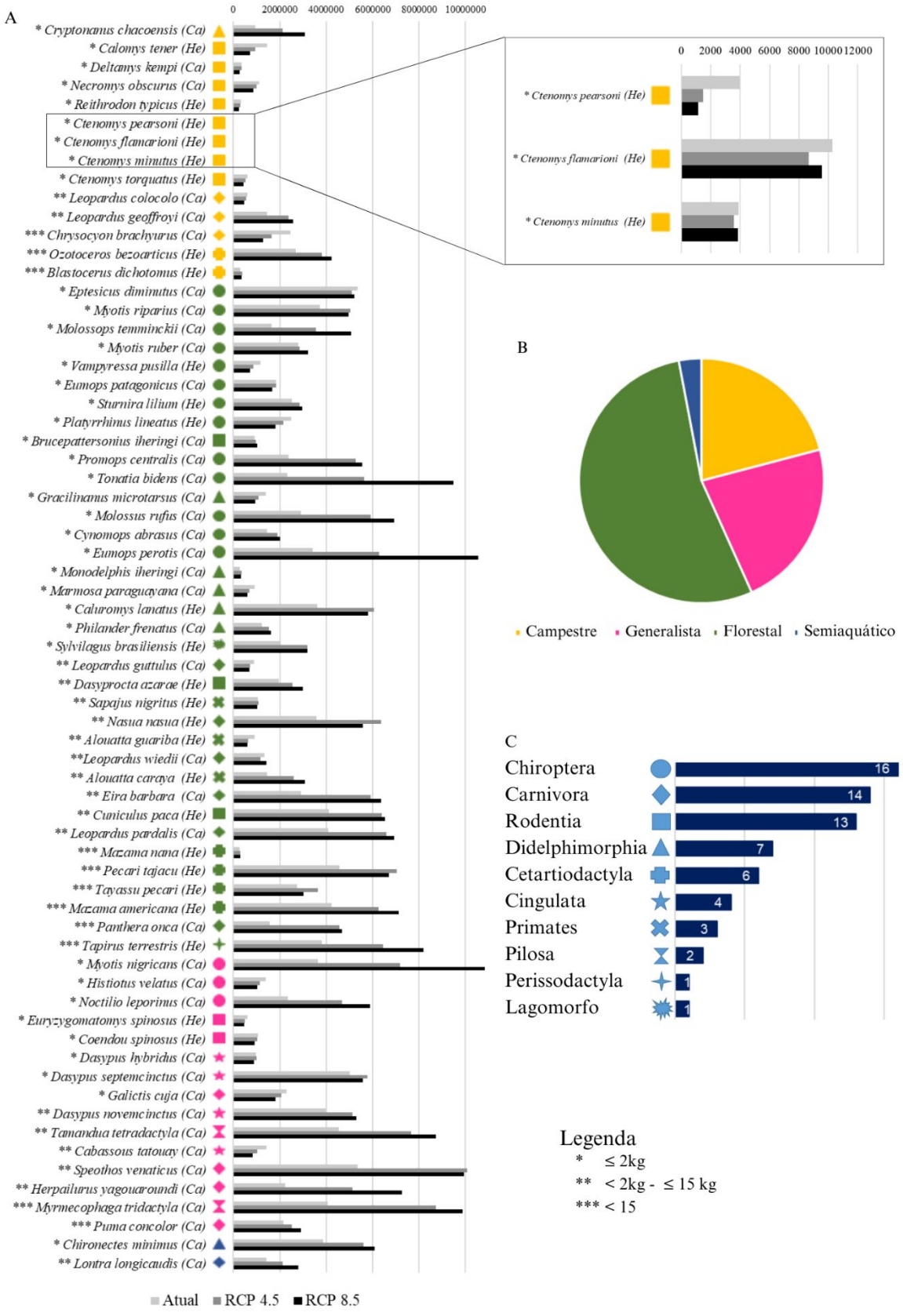

Figura 1: A) Tamanho estimado das áreas com clima adequado para 67 espécies de mamíferos analisados considerando todo o continente sul-americano (km^2). B) Classificação das 67 espécies analisadas quanto ao seu habitat. C) Ordem das espécies analisadas. * massa corporal. Herbívoro = He e Carnívoro = Ca

Considerando apenas as áreas adequadas dentro da ecorregião Savana Uruguaia, o padrão é semelhante ao encontrado para todo continente sul-americano, no geral ocorre um aumento das áreas adequadas para os mamíferos, porém com uma diminuição das áreas adequadas para as espécies campestres (Figura 2). No Cenário RCP 4.5, 49 das 67 espécies de mamíferos terão um aumento nas suas áreas adequadas para 2070 dentro da ecorregião da Savana Uruguaia. Contudo, para as espécies campestres, nove das 14 espécies terão uma redução dessas áreas. Para 30 das 36 espécies florestais o resultado é de aumento das áreas adequadas, e o mesmo ocorre para 12 das 15 espécies generalistas e para ambas as espécies semiaquáticas. A espécie que expande mais suas áreas adequadas dentro da ecorregião da Savana Uruguaia é *Molossus rufus* e a espécie que terá maior redução nas suas áreas adequadas nesta ecorregião é, mais uma vez, o Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*).

No cenário RCP 8.5, 53 das 67 espécies de mamíferos terão um aumento nas suas áreas adequadas para 2070 dentro da ecorregião da Savana Uruguaia. Contudo, para as espécies campestres nove das 14 espécies terão uma redução dessas áreas. Para 34 das 36 espécies florestais o resultado é de aumento das áreas adequadas, e o mesmo ocorre para 12 das 15 espécies generalistas e para ambas as espécies semiaquáticas. A espécie que expande mais suas áreas adequadas dentro da ecorregião da Savana Uruguaia é o *Eumops perotis* e a espécie que terá maior redução nas suas áreas adequadas nesta ecorregião é, mais uma vez, o Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyrus*).

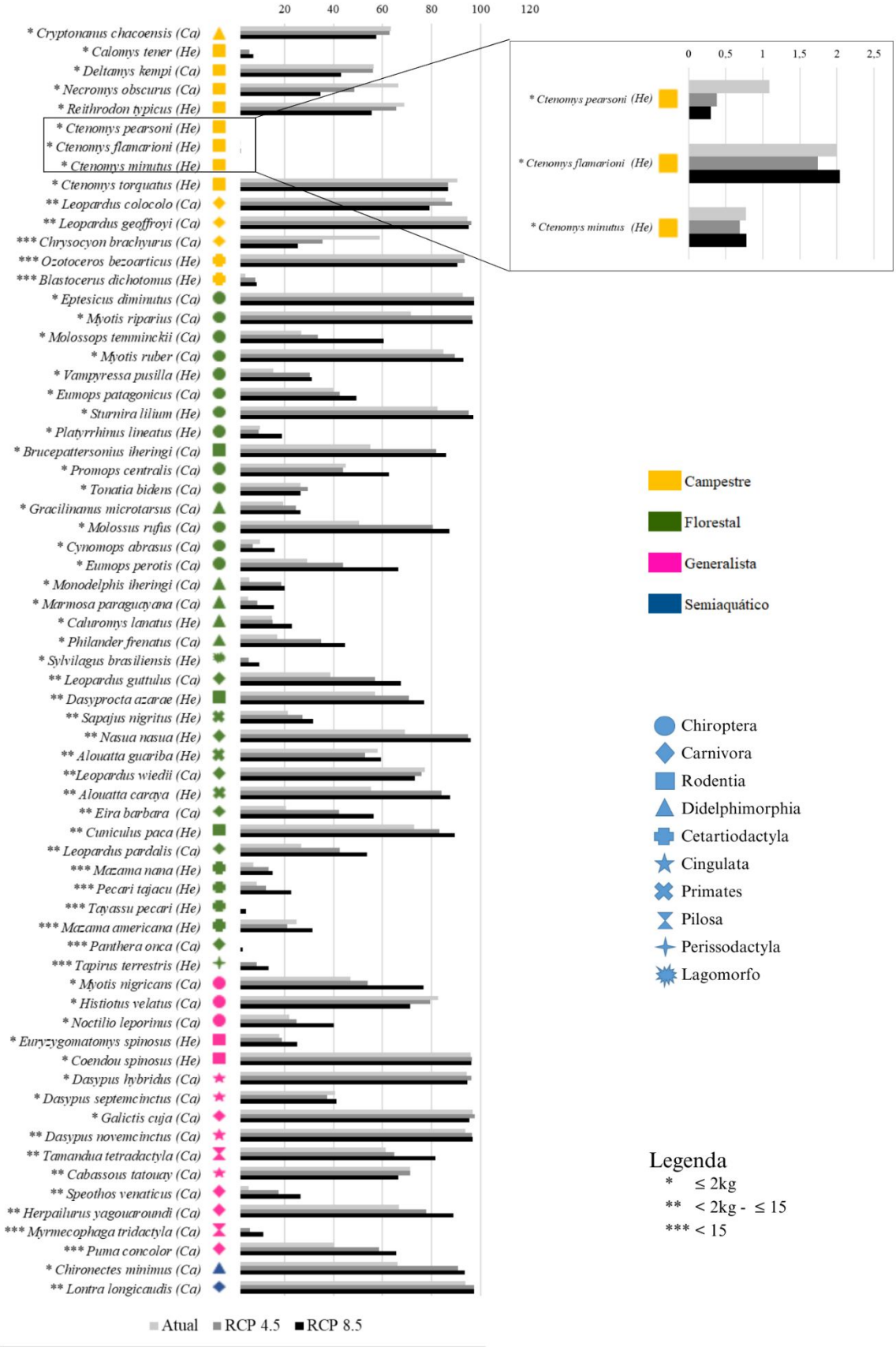

Figura 2: A) Proporção da ecorregião Savana Uruguaia que possui ou possuirá clima adequado para cada uma das 67 espécies de mamíferos analisadas (%). Herbívoro = He e Carnívoro = Ca

Para o cenário RCP 4.5, das 67 espécies analisadas, 31 delas tiveram uma mudança no centro de sua distribuição geográfica - o centróide da latitude de suas distribuições - para regiões mais temperadas, sendo que 16 dessas espécies tiveram uma mudança maior que um grau (Tabela 3). Para as demais espécies, 36, a mudança obtida foi para regiões mais tropicais, sendo que 23 dessas espécies tiveram mudanças maiores que um grau de latitude. Para o cenário RCP 8.5, também foram 31 espécies que tiveram uma mudança no centro de sua distribuição geográfica para regiões mais temperadas, contudo 22 dessas espécies tiveram uma mudança maior que um grau. Considerando as espécies que mudaram o centro de suas distribuições geográficas para o norte, das 36 espécies que tiveram essa mudança, 23 tiveram mudanças maiores que um grau.

No cenário RCP 4.5, das 67 espécies analisadas, 26 delas tiveram uma mudança no seu limite sul da sua distribuição geográfica - o limite máximo sul da sua distribuição - para regiões mais temperadas, sendo que apenas duas tiveram uma mudança maior que um grau. Para cinco espécies a mudança obtida foi para regiões mais tropicais, sendo que duas dessas espécies tiveram mudanças maiores que um grau de latitude. Para 36 espécies não houve mudanças. Para o cenário RCP 8.5, foram 30 espécies que tiveram uma mudança no limite sul da sua distribuição para regiões mais temperadas, contudo apenas quatro dessas espécies tiveram uma mudança de mais de um grau. Considerando as espécies que mudaram o seu limite sul de sua distribuição geográfica para o norte, das sete espécies que tiveram essa mudança, duas tiveram mudanças maiores que um grau. Para 30 espécies não houve nenhuma mudança no seu limite sul.

Nos cenários de RCP 4.5 das 67 espécies analisadas, 18 delas tiveram uma mudança no seu limite norte de distribuição geográfica - limite máximo norte - para regiões mais temperadas, sendo que apenas seis tiveram uma mudança maior que um grau. Para 12 espécies, a mudança obtida foi para regiões mais tropicais, sendo que duas dessas espécies tiveram maiores que um grau. Para 37 espécies não houve mudança. Para o cenário RCP 8.5, foram 26 espécies que tiveram uma mudança no seu limite norte de distribuição para regiões mais temperadas, sendo que oito destas espécies tiveram uma mudança de mais de um grau. Considerando as espécies que mudaram seu limite norte de distribuição mais para o norte, das 13 espécies que tiveram essa mudança, duas tiveram uma mudança de mais de um grau. Para 28 espécies não houve nenhuma mudança no seu limite norte.

Tabela 3: Indicação da latitude (°) referente ao centro da distribuição geográfica das espécies analisadas – centróide, e os limites dessas distribuições ao Sul e ao Norte na América do Sul, na condição de clima atual e nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do IPCC. As células pintadas de vermelho claro possuem uma diminuição ente 1 e 2 graus para latitude norte, as células pintadas de vermelho escuro possuem mudanças uma diminuição de latitude maiores que 2 graus, as células pintadas de azul claro possuem um aumento ente 1 e 2 graus para latitude sul, as células pintadas de azul escuro possuem uma diminuição de latitude maiores que 2 graus para o sul.

Habitat	Espécie	Centróide			Limite Sul			Limite Norte		
		Atual	RCP 4.5	8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5
Campestre	*Cryptonanus chacoensis*	-29,46	-23,1	-18,9	-55,5	-55,5	-55,5	8,8	11,9	12,1
	Calomys tener	-18,36	-20	-21,1	-53,9	-53,3	-53,3	11,2	11,1	11,1
	Deltamys kempi	-34,41	-35,3	-36,1	-55,5	-55,6	-55,5	10,5	6,6	6,6
	Necromys obscurus	-32,55	-34,3	-35,1	-55,6	-55,6	-55,6	11,5	11,5	11,5
	Reithrodon typicus	-32,42	-32,5	-32,6	-52,8	-53,7	-53,5	10	9,6	9,2
	Ctenomys pearsoni	-34,45	-34,7	-34,6	-34,9	-34,9	-34,9	-29,7	-34,3	-34,2
	Ctenomys flamarioni	-32,02	-31,4	-31,4	-53,3	-53,8	-53,3	-27,9	-27,9	-27,9
	Ctenomys minutus	-30,93	-30,9	-30,9	-36,5	-32,7	-34,8	-29,3	-28,2	-28,2
	Ctenomys torquatus	-31,52	-32,3	-32,6	-55,3	-55,5	-55,5	9,8	9,8	9,8
	Leopardus colocolo	-29,87	-29,8	-29,8	-55,5	-55,5	-55,5	10,8	10,8	10,8
	Leopardus geoffroyi	-31,17	-30,4	-30,3	-55,3	-55,5	-55,5	12,4	12,4	12,4
	Chrysocyon brachyurus	-23,18	-24,7	-25,8	-53,4	-53,4	-53,4	11	11	11
	Ozotoceros bezoarticus	-26,03	-23,8	-23	-55,5	-55,5	-55,5	11,3	11,3	11,3
	Blastocerus dichotomus	-24,29	-25,5	-25,3	-53,3	-53,3	-53,3	10	6,7	-1,5
	Eptesicus diminutus	-20,66	-21,9	-21,8	-55,6	-55,6	-55,6	12,4	12,2	12,2
	Myotis	-8,67	-8,2	-8	-55,6	-55,6	-55,6	12,3	12,4	12,4

Habitat	Espécie	Centróide			Limite Sul			Limite Norte		
		Atual	RCP 4.5	8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5
	riparius									
	Molossops temminckii	-21,89	-15,4	-14,1	-52,2	-52,2	-52,2	11,3	11,4	11,5
	Myotis ruber	-24,52	-24,8	-22,4	-55,6	-55,5	-55,5	12,4	12,4	12,4
	Vampyressa pusilla	-22,83	-24,7	-25,4	-55,1	-55,5	-55,5	11,8	11,8	12
	Eumops patagonicus	-23,11	-23,6	-24,7	-51,9	-51,9	-52	12	11,7	11,7
	Sturnira lilium	-23,34	-23,5	-22	-55,1	-55,5	-55,5	12	12	11,8
	Platyrrhinus lineatus	-19,62	-18,9	-19,7	-53	-53	-53,6	11,8	11,8	11,1
	Brucepatters onius iheringi	-27,66	-29,3	-30	-54,7	-55	-55	7,3	7,4	7,3
	Promops centralis	-12,26	-7,9	-8,5	-55,5	-55,5	-55,5	12,4	12,4	12,4
	Tonatia bidens	-21,30	-13	-10,5	-55,5	-55,6	-55,5	12,4	12,4	12,4
	Gracilinanus microtarsus	-23,09	-24,2	-24,9	-55,1	-55,5	-55,5	10,5	10,5	10,6
	Molossus rufus	-13,16	-10	-9,6	-54,8	-54,8	-55	12,2	12,2	11,5
	Cynomops abrasus	-13,66	-12,6	-12,9	-55,6	-55,6	-55,6	11,5	11,5	11,5
	Eumops perotis	-20,86	-15,8	-12,2	-45,6	-45,6	-45,6	12,3	12,4	12,4
	Monodelphis iheringi	-26,58	-28,4	-29	-54,9	-55,5	-55,5	11,9	11	11
	Marmosa paraguayana	-23,88	-24,9	-26,4	-55,1	-55,5	-55,5	10,5	10,2	9,9
	Caluromys lanatus	-6,36	-5,3	-5,6	-42,7	-42,3	-41,7	11,5	11,5	11,5
Floresta	*Philander frenatus*	-23,90	-25	-25	-54,6	-54,6	-54,6	11,8	11,8	11,8
	Sylvilagus brasiliensis	-12,85	-13,9	-14,4	-51,5	-53	-52,8	12,2	12,2	12,2
	Leopardus guttulus	-25,93	-28,2	-29,2	-54,1	-54,6	-54,6	10,4	10,4	5,8

Habitat	Espécie	Centróide			Limite Sul			Limite Norte		
		Atual	RCP 4.5	8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5
	Dasyprocta azarae	-23,92	-23	-22,3	-55,3	-55,3	-55,2	10,7	11,1	11,2
	Sapajus nigritus	-24,31	-24,6	-24,6	-55,1	-55,5	-55,5	11,2	11	11
	Nasua nasua	-13,93	-10	-10,9	-54,5	-54,6	-54,6	12,2	12,2	12
	Alouatta guariba	-26,70	-28,2	-28,7	-54,7	-55,5	-55,5	11,3	-0,5	-9
	Leopardus wiedii	-17,90	-18	-16,6	-54,5	-55	-55,5	12,4	12,4	12,4
	Alouatta caraya	-24,51	-21,7	-20,8	-54,7	-54,7	-54,7	11,3	11,3	11,3
	Eira barbara	-10,66	-8,3	-8,2	-54,8	-54,8	-54,8	12,2	12,2	12,2
	Cuniculus paca	-7,42	-6,4	-6,8	-54,5	-54,5	-55,5	12,3	12,2	12,2
	Leopardus pardalis	-10,72	-9,6	-10,4	-54,7	-55,5	-55	12,4	12,4	12,4
	Mazama nana	-26,65	-26,9	-27,3	-52,9	-53,3	-54,5	5,8	2,9	2,9
	Pecari tajacu	-8,75	-8	-8,4	-55,3	-55,5	-55,5	12,2	12,4	12,4
	Tayassu pecari	-10,21	-7	-7,6	-54,9	-54,9	-55,5	11,5	11,4	11,4
	Mazama americana	-8,73	-7,7	-8,1	-54,8	-55,3	-55,6	11,5	11,8	11,4
	Panthera onca	-7,74	-6,7	-7,9	-53,3	-47,8	-55,3	11,9	12,4	12,4
	Tapirus terrestres	-9,45	-8,9	-8,7	-50,3	-51,2	-51,3	12,2	12,4	12,4
	Myotis nigricans	-11,77	-9,9	-9,4	-54	-54	-54	12,4	12,4	12,4
	Histiotus velatus	-26,30	-27,1	-26,6	-54,8	-54,8	-55,4	11,3	11	10,8
	Noctilio leporinus	-9,33	-9,2	-9,6	-54,8	-54,8	-54,8	12,2	12,2	12,4
	Euryzygomatomys spinosus	-25,14	-26,5	-27,3	-54,7	-55,5	-55,5	11	10,5	10,1
	Coendou spinosus	-28,87	-29,8	-30,3	-55,5	-55,5	-55,5	11	10,7	10,7

Habitat	Espécie	Centróide			Limite Sul			Limite Norte		
		Atual	RCP 4.5	8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5
Generalista	*Dasypus hybridus*	-32,37	-32,7	-33,3	-55,5	-55,5	-55,5	-11	-24,6	-25,8
	Dasypus septemcinctus	-14,74	-13,9	-13,8	-54,8	-54,8	-54,8	12,4	12,4	12,4
	Galictis cuja	-30,62	-32,8	-33,7	-55,6	-55,6	-55,6	11,3	11,3	11,3
	Dasypus novemcinctus	-19,45	-17,2	-16,9	-53,3	-53,3	-53,3	12,4	12,4	12,4
	Tamandua tetradactyla	-17,29	-14,3	-13,6	-53,6	-53,6	-53,3	12,2	12,2	12,2
	Cabassous tatouay	-24,28	-25,7	-26,3	-53,3	-53,3	-55,6	12	12	10,7
	Speothos venaticus	-7,97	-8,6	-9	-55,6	-55,6	-55,6	12	12	12
	Herpailurus yagouaroundi	-17,40	-12,8	-11	-52,5	-52,7	-52,7	12,4	12,4	12,4
	Myrmecophaga tridactyla	-15,65	-11,8	-11,4	-47,6	-49,8	-43	12	12	11,4
	Puma concolor	-24,22	-23,6	-20,8	-55,6	-55,6	-55,6	11,4	11,8	11,8
Semiaquático	*Chironectes minimus*	-11,09	-8,5	-8,1	-55,5	-55,5	-55,5	12,4	12,4	12,4
	Lontra longicaudis	-19,15	-15,7	-13,2	-55,3	-55,3	-55,3	11,3	11,3	11,3

Ao sobrepor os mapas de áreas adequadas das 67 espécies, podemos ter uma estimativa da riqueza de espécies para a ecorregião da Savana Uruguaia (Figura 3). O padrão geral é de aumento da riqueza de mamíferos na Savana Uruguaia, principalmente das espécies florestais, contudo com diminuição da riqueza de espécies campestres (Tabela 4). Este resultado acontece em ambos os cenários climáticos, RCP 4.5 e RCP 8.5, sendo a mudança mais severa no cenário mais pessimista.

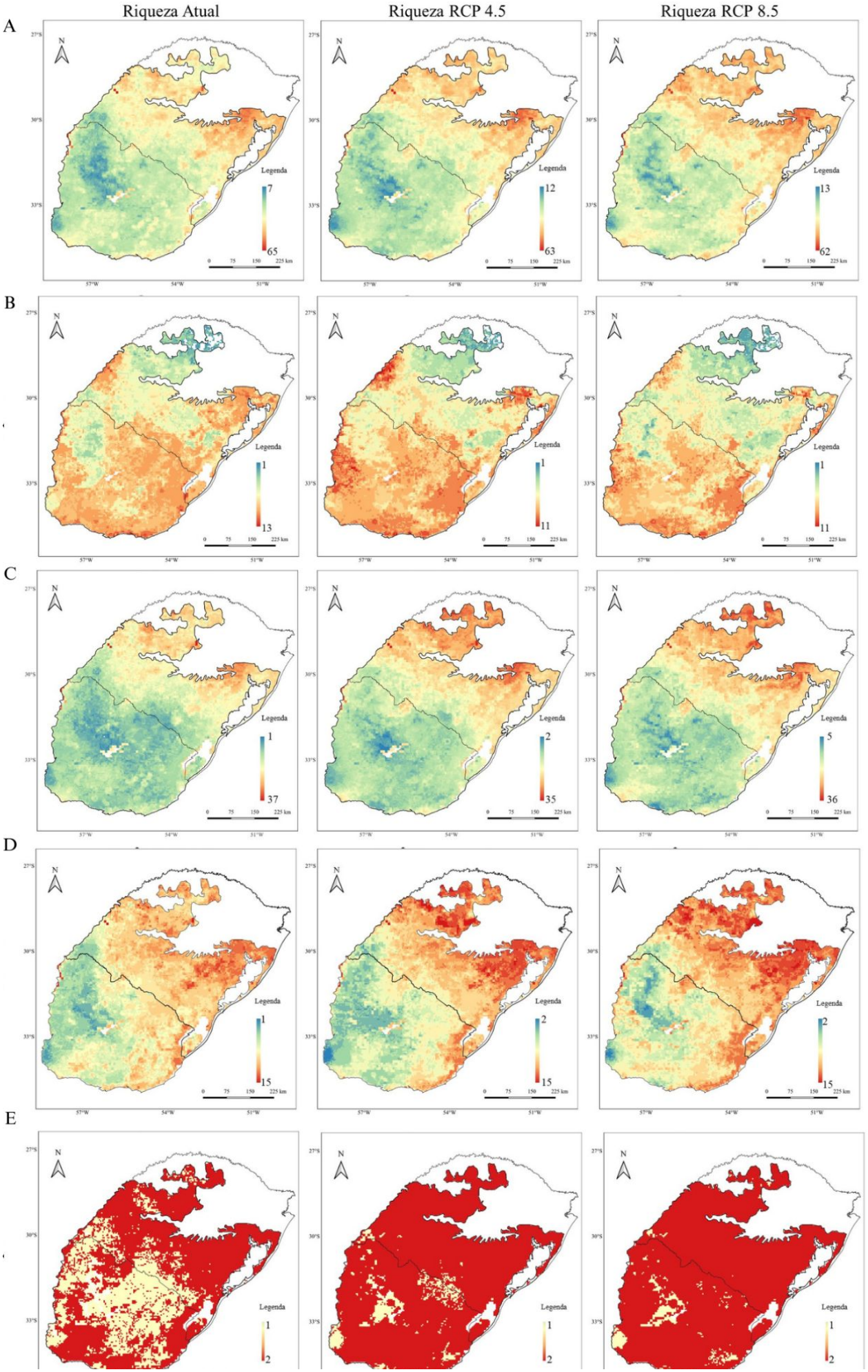
Riqueza Atual
Riqueza RCP 4.5
Riqueza RCP 8.5
A
B
C
D
E
Legenda
7
65
12
63
13
62
1
13
1
11
1
11
1
37
2
35
5
36
1
15
2
15
2
15
1
2
1
2
1
2
0 75 150 225 km
27°S
30°S
33°S
57°W
54°W
51°W
N

Figura 3: Riqueza de espécies na região da Savana Uruguaia na condição de clima atual e em cenários futuros de emissões de gases do efeito estufa intermediário (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5) considerando: A) 67 espécies de mamíferos com diversos tipos de habitat; B) 14 espécies de habitat campestre; C) 15 espécies de habitat generalista; D) 36 espécies florestais. E) 2 espécies semiaquaáticas.

Tabela 4: Riqueza espécies de mamíferos na ecorregião da Savana Uruguaia de acordo com suas classificações de habitat, para o clima atual, e em cenários futuros de emissões de gases do efeito estufa intermediário (RCP 4.5) e pessimista (RCP 8.5).

Habitat	Cenário		
	Atual	RCP 4.5	RCP 8.5
Todos (n = 67)	31,0183 ± 8,8084	33,8952 ± 8,4809	36,5540 ± 7,9541
Campestre (n = 14)	7,6448 ± 2,2811	6,6962 ± 2,0124	6,0029 ± 2,0226
Florestal (n = 36)	13,1756 ± 6,4129	16,1013 ± 6,4367	18,5896 ± 6,0759
Generalista (n = 15)	8,5595 ± 2,7043	9,1696 ± 2,9967	10,0050 ± 2,7434
Semiaquático (n = 2)	1,6384 ± 0,5135	1,9281 ± 0,2689	1,9566 ± 0,2048

5 DISCUSSÃO

Nesta pesquisa, podemos observar que há um indicativo de uma reorganização da fauna de mamíferos na ecorregião da Savana Uruguaia em cenários de clima futuro, a fauna campestre vai ser parcialmente substituída por uma fauna mais tropical, dominada por espécies florestais. Este resultado soma-se a várias evidências científicas que indicam grandes mudanças na fauna de mamíferos em outras regiões (Levinsky et al., 2007; Trisurat et al., 2015; Deb et al., 2020). Quantos aos marsupiais em território brasileiro, por exemplo, a maior parte das espécies apresentará perda de áreas adequadas. Contudo, algumas áreas ainda manterão sua adequação climática para esse grupo, com destaque para o bioma Pampa, onde estima-se que haverá um aumento na riqueza dessas espécies (Loyola et al., 2012). Nos nossos resultados, cinco das seis espécies de marsupiais analisadas (*Gracilinanus microtarsus, Monodelphis iheringi, Marmosa paraguayana, Caluromys lanatus, Philander frenatus e Chironectes minimus*) terão suas áreas de clima adequadas expandidas na ecorregião da Savana Uruguaia. Como os marsupiais são predominantemente tropicais, reforça nosso argumento principal descrito acima de uma tropicalização da fauna de mamíferos na ecorregião da Savana Uruguaia.

Nesta pesquisa, foi demonstrado que as espécies campestres poderão sofrer uma contração nas suas distribuições geográficas, pois terão uma redução dos locais com clima adequado. Estas espécies já estavam expostas a um complexo cenário de perda e degradação dos campos nativos, à medida que a pecuária em campo nativo perdeu espaço para outras atividades agrícolas mais rentáveis (Overbeck et al., 2007; Pekin & Pijanowski, 2012; Modernel et al., 2016; De Lima et al., 2021). No Uruguai, é indicado que o maior impulsionador da mudança na cobertura do solo no período de 1999 a 2019 foi o aumento na plantação de árvores exóticas de alto potencial madeireiro, com evidências de que já aconteceu um aumento de 62% na cobertura de vegetação lenhosa neste país (Stanimirova et al., 2022). Contudo, estes se potencializam quando incorporamos às mudanças climáticas neste cenário. Segundo Rocha et al. (2021) o bioma Pampa já está sentenciado a sofrer com as mudanças climáticas, com estudos indicando que mesmo que a temperatura do ar pare de subir, esse bioma já irá viver um estresse hídrico com mudanças na disponibilidade de água, eventos de escassez e desordem na precipitação.

A espécie mais prejudicada foi o Lobo-Guará (*Chrysocyon brachyurus*), uma espécie de habitat campestre. Este canídeo foi a espécies que mais perdeu áreas com clima adequados tanto no cenário RCP 4.5 como no RCP 8.5, sendo que vários estudos já demonstram o quanto esta espécie está ameaçada (Grilo et al., 2021; Kasper et al., 2023) e que sofrem com um alto índice de atropelamentos (Coelho et al., 2018; Pinto et al., 2022). Em contrapartida, as espécies que mais expandem suas áreas de clima adequado em ambos os cenários (*Molossus rufus* no RCP 4.5 e *Eumops perotis RCP 8.5*) são espécies de morcegos florestais. Este resultado ilustra a principal transformação em relação à fauna que deverá acontecer nesta ecorregião, a extinção local de espécies campestres e o aumento da ocorrência de espécies florestais.

O padrão de riqueza atual considerando todos os mamíferos indica maiores valores na parte norte da ecorregião, na transição com a Mata Atlântica, já demonstrando a influência desse bioma florestal na composição faunística da ecorregião da Savana Uruguaia. Contudo, quando analisamos somente as espécies campestres podemos notar que estas espécies apresentam maior riqueza na parte sul da ecorregião, principalmente no Uruguai. Os dados indicam que a ecorregião da Savana Uruguaia pode perder, em média, 21,5% de sua riqueza de espécies campestres, sendo que esta perda será maior na parte norte do bioma, havendo poucas mudanças para essas espécies no Uruguai. Também podemos observar que a riqueza de espécies florestais poderá aumentar em, em média, 41,1%. Este aumento também será concentrado na parte norte da ecorregião, com poucas mudanças previstas para o Uruguai. No que diz respeito às mudanças no Uruguai, estas são mais expressivas quando consideramos os mamíferos generalistas e os semiaquáticos, sendo que ambos tendem a aumentar sua ocorrência neste país.

A América do Sul possui um elevado número de espécies de distribuição restrita que necessitam de um habitat específico, contudo, as mudanças climáticas levam a modificação ou desaparecimento destes habitats (Lambers, 2015), podendo levar a uma intensa reorganização da fauna neotropical. Na Amazônia brasileira, as mudanças climáticas afetarão também as espécies de mamíferos e causarão uma reestruturação geográfica, a fauna passará por um processo onde as espécies das florestas tropicais darão espaço para espécies que ocupam savanas abertas (Sales et al., 2020). Para os mamíferos da Caatinga, o maior perigo parece ser a perda de espécies dentro das comunidades levando a uma homogeneização da biodiversidade, além de um severo declínio nas áreas adequadas para os mamíferos de pequeno porte (Moura et al., 2023). Na Mata Atlântica, bioma florestal vizinho da ecorregião

da Savana Uruguaia, foi projetado que até 32% das espécies perderão 95% dos seus espaços climáticos e até 73% das espécies perderão metade deles até 2100 (De Oliveira et al., 2024). Podemos inferir que algumas dessas espécies ameaçadas na Mata Atlântica poderão compensar essas perdas de áreas adequadas ganhando outras áreas adequadas mais ao sul, na ecorregião da Savana Uruguaia, como pode ser o caso do *Leopardus guttulus*, que segundo Oliveira et al. (2024) perderá áreas na Mata Atlântica, mas de acordo com os dados apresentados aqui, ganhará áreas na ecorregião Savana Uruguaia. Contudo, mesmo que novas áreas com clima adequado possam existir, uma grande problemática é saber se estas áreas adequadas serão acessíveis (Da Costa-Pinto et al., 2024). Grandes áreas da América do Sul já foram convertidas para fins agropecuários e urbanização, e sabemos que áreas agrícolas e urbanas afetam a movimentação de mamíferos, sendo possível que estas impeçam estas espécies de alcançarem novas áreas de clima adequado (Lambers, 2015; Bradgley et al., 2016; Brunke et al., 2019).

6 CONCLUSÃO

Esta dissertação fundamentou-se principalmente em avaliar as áreas de clima adequado para espécies de mamíferos ameaçados ou com distribuição restrita ou considerados deficiente em dados na ecorregião da Savana Uruguaia diante das mudanças climáticas. Os resultados encontrados demonstram que a tendência geral é de um aumento na riqueza média de espécies na ecorregião da Savana Uruguaia, em outras palavras, as espécies aumentaram sua área de clima adequado dentro desta ecorregião, mesmo que a extensão total de sua área com clima adequado diminua. Contudo, este não é o padrão para as espécies de mamíferos campestres. Estas demonstram uma diminuição na riqueza média na ecorregião, especialmente na parte norte da ecorregião, no estado do Rio Grande do Sul. Logo, a fauna campestre será parcialmente substituída por uma fauna mais tropical, com predomínio de espécies generalistas e florestais.

7 REFERÊNCIAS

ABREU, E. F., Casali, D. et al., (2023). Lista de Mamíferos do Brasil (2023-1)

ACHIENG, Alfred O. et al. Monitoring biodiversity loss in rapidly changing Afrotropical ecosystems: an emerging imperative for governance and research. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 378, n. 1881, p. 20220271, 2023.

ALMOND, Rosamund E. A. **Living Planet Report 2020-Bending the curve of biodiversity loss**. World Wildlife Fund, 2020.

ALVES, Rômulo R. N. Relationships between fauna and people and the role of ethnozoology in animal conservation. **Ethnobiology and conservation**, v. 1, 2012.

ANDERMANN, Tobias et al. The past and future human impact on mammalian diversity. **Science advances**, v. 6, n. 36, p. eabb2313, 2020.

ARAÚJO, Miguel B. et al. Climate change threatens European conservation areas. **Ecology letters**, v. 14, n. 5, p. 484-492, 2011.

BADGLEY, Catherine et al. Continental gateways and the dynamics of mammalian faunas. **Comptes Rendus Palevol**, v. 15, n. 7, p. 763-779, 2016.

BAEZA, Santiago et al. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomas Pampa initiative. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 28, p. 100834, 2022.

BAI, Limin et al. Influence of urbanization on regional habitat quality: a case study of Changchun City. **Habitat International**, v. 93, p. 102042, 2019.

BAL, Abhipsa; PAITAL, Biswaranjan. Anthropization, salinity and oxidative stress in animals in the coastal zone. **Environmental Sciences Proceedings**, v. 25, n. 1, p. 7, 2023.

BARBOSA, Renan do N. et al. Brazilian Atlantic Forest and Pampa Biomes in the spotlight: an overview of Aspergillus, Penicillium, and Talaromyces (Eurotiales) species and the description of Penicillium nordestinense sp. nov. **Acta Botanica Brasilica**, v. 36, p. e2021abb0390, 2022.

BARDGETT, Richard D. et al. Combatting global grassland degradation. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 2, n. 10, p. 720-735, 2021.

BELLARD, Celine et al. Insights from modeling studies on how climate change affects invasive alien species geography. **Ecology and evolution**, v. 8, n. 11, p. 5688-5700, 2018.

BENKWITT, Cassandra E. et al. Biodiversity increases ecosystem functions despite multiple stressors on coral reefs. **Nature Ecology & Evolution**, v. 4, n. 7, p. 919-926, 2020.

BIBER, Matthias F. et al. Potential effects of future climate change on global reptile distributions and diversity. **Global Ecology and Biogeography**, v. 32, n. 4, p. 519-534, 2023.

BOOTH, Trevor H. et al. BIOCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies. **Diversity and Distributions**, v. 20, n. 1, p. 1-9, 2014.

BOTTINO, Marcus J. et al. Amazon savannization and climate change are projected to increase dry season length and temperature extremes over Brazil. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 5131, 2024.

BRAZEIRO, Alejandro et al. Agricultural expansion in Uruguayan grasslands and priority areas for vertebrate and woody plant conservation. **Ecology & Society**, v. 25, n. 1, 2020.

BRITNELL, Jake A. et al. Ecological marginalization is widespread and increases extinction risk in mammals. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 120, n. 3, p. e2205315120, 2023.

BRUNKE, Jennifer et al. Messing about on the river: the role of geographic barriers in shaping the genetic structure of Bornean small mammals in a fragmented landscape. **Conservation Genetics**, v. 20, p. 691-704, 2019.

CALAMBÁS-TROCHEZ, Licet Fernanda et al. Climate and land-use changes coupled with low coverage of protected areas threaten palm species in South Brazilian grasslands. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 345-353, 2021.

IPCC, 2023: Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

COELHO, Lorena et al. Understanding factors affecting the distribution of the maned wolf (Chrysocyon brachyurus) in South America: spatial dynamics and environmental drivers. **Mammalian Biology**, v. 92, p. 54-61, 2018.

CORLETT, Richard T. The Anthropocene concept in ecology and conservation. **Trends in ecology & evolution**, v. 30, n. 1, p. 36-41, 2015.

COSTA, Leonora P. et al. Conservação de mamíferos no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 103-112, 2005.

CROOKS, Kevin R. et al. Quantification of habitat fragmentation reveals extinction risk in terrestrial mammals. **Proceedings of the national Academy of Sciences**, v. 114, n. 29, p. 7635-7640, 2017.

DA COSTA-PINTO, Anna L. et al. Where could they go? Potential distribution of small mammals in the Caatinga under climate change scenarios. **Journal of Arid Environments**, v. 221, p. 105133, 2024.

DA ROCHA, Najila S. et al. Potential impacts of air temperature rise in the hydric balance of Brazilian Pampa biome. **Acta Geophysica**, v. 69, n. 4, p. 1427-1445, 2021.

DA SILVA, Thaiane W. et al. Carla Suertegaray. Structure of avian assemblages in grasslands associated with cattle ranching and soybean agriculture in the Uruguayan savanna ecoregion of Brazil and Uruguay. **The Condor: Ornithological Applications**, v. 117, n. 1, p. 53-63, 2015.

DE LIMA, D. O. Integrating strict protection and sustainable use areas to preserve the Brazilian Pampa biome through conservation planning. **Land Use Policy**, v. 99, p. 104836, 2020.

DE LIMA, D. O. et al. Anthropogenic effects on the occurrence of medium-sized mammals on the Brazilian Pampa biome. **Animal Conservation**, v. 24, n. 1, p. 135-147, 2021.

DE MORAES WEBER, Marcelo et al. **Mamíferos do Rio Grande do Sul**. Editora UFSM, 2023.

DE OLIVEIRA, Marina E. et al. Modeling responses of Brazilian Atlantic Forest mammals assemble to climate change. **Biodiversity and Conservation**, v. 33, n. 2, p. 463-483, 2024.

DEB, Jiban C. et al. Modelling the spatial distribution of selected North American woodland mammals under future climate scenarios. **Mammal Review**, v. 50, n. 4, p. 440-452, 2020.

ELHACHAM, Emily et al. Global human-made mass exceeds all living biomass. **Nature**, v. 588, n. 7838, p. 442-444, 2020.

ELITH, Jane et al. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, n. 2, p. 129-151, 2006.

ELITH, Jane; LEATHWICK, John R. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual review of ecology, evolution, and systematics, v. 40, p. 677-697, 2009.

ELITH, Jane et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and distributions**, v. 17, n. 1, p. 43-57, 2011.

FALEIRO, Frederico V. et al. Defining spatial conservation priorities in the face of land-use and climate change. **Biological Conservation**, v. 158, p. 248-257, 2013.

FEARNSIDE, Philip M. The intrinsic value of Amazon biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, v. 30, n. 4, p. 1199-1202, 2021.

FISCHER, Joern et al. Land sparing versus land sharing: moving forward. **Conservation Letters**, v. 7, n. 3, p. 149-157, 2014.

FOLKE, Carl et al. Our future in the Anthropocene biosphere. **Ambio**, v. 50, p. 834-869, 2021.

FONSECA, Carlos R.; VENTICINQUE, Eduardo M. Biodiversity conservation gaps in Brazil: A role for systematic conservation planning. **Perspectives in ecology and conservation**, v. 16, n. 2, p. 61-67, 2018.

FRANCO, José L. de A. The concept of biodiversity and the history of conservation biology: from wilderness preservation to biodiversity conservation. **História (São Paulo)**, v. 32, p. 21-48, 2013.

FRANKLIN, Miller J. A. Mapping species distributions. Cambridge: **Cambridge University Press**, 2009.

FUENTES, Marcelino. Economic growth and biodiversity. **Biodiversity and Conservation**, v. 20, p. 3453-3458, 2011.

GAÁL, M. et al. Modelling the impact of climate change on the Hungarian wine regions using random forest. **Appl. Ecol. Environ. Res**, v. 10, n. 2, p. 121-140, 2012.

GARCÍA MOLINOS, Jorge et al. Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2016.

GIAM, Xingli. Global biodiversity loss from tropical deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 23, p. 5775-5777, 2017.

GORDANO PEILE, Silvana. Diálogos entre OT y Aps sobre el ambiente en la planificación territorial local: costa entre Laguna Garzón y Laguna de Rocha, Uruguay. 2021.

GRASS, Ingo; BATÁRY, Péter; TSCHARNTKE, Teja. Combining land-sparing and land-sharing in European landscapes. In: **Advances in ecological research**. Academic Press, 2021. p. 251-303.

GRAY, Claudia L. et al. Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide. **Nature communications**, v. 7, n. 1, p. 12306, 2016.

GRILO, Clara et al. Conservation threats from roadkill in the global road network. **Global Ecology and Biogeography**, v. 30, n. 11, p. 2200-2210, 2021.

GUISAN, Antoine et al. Predicting species distributions for conservation decisions. **Ecology letters**, v. 16, n. 12, p. 1424-1435, 2013.

HABIBULLAH, Muzafar S. et al. Impact of climate change on biodiversity loss: global evidence. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 1, p. 1073-1086, 2022.

HALFFTER, Gonzalo. Towards a culture of biodiversity conservation. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 21, n. 2, p. 133-153, 2005.

HERMOSO, Virgilio et al. The role of protected areas for freshwater biodiversity conservation: challenges and opportunities in a rapidly changing world. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 26, p. 3-11, 2016.

HETEM, Robyn S. et al. Responses of large mammals to climate change. **Temperature**, v. 1, n. 2, p. 115-127, 2014.

HIDASI-NETO, José et al. Climate change will drive mammal species loss and biotic homogenization in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 2, p. 57-63, 2019.

JAKKULA, Vikramaditya. Tutorial on support vector machine (svm). **School of EECS, Washington State University**, v. 37, n. 2.5, p. 3, 2006.

JANSSON, Janet K.; HOFMOCKEL, Kirsten S. Soil microbiomes and climate change. **Nature Reviews Microbiology**, v. 18, n. 1, p. 35-46, 2020.

JENKINS, Clinton N. et al. Patterns of vertebrate diversity and protection in Brazil. **PloS one**, v. 10, n. 12, p. e0145064, 2015.

JING, Wenlong et al. Mapping urban areas with integration of DMSP/OLS nighttime light and MODIS data using machine learning techniques. **Remote Sensing**, v. 7, n. 9, p. 12419-12439, 2015.

KAKY, Emad et al. A comparison between Ensemble and MaxEnt species distribution modelling approaches for conservation: A case study with Egyptian medicinal plants. **Ecological Informatics**, v. 60, p. 101150, 2020.

KASPER, Carlos B. et al. The last and endangered maned wolves (Chrysocyon brachyurus) from southern Brazil and Uruguay: new records and spatial distribution modeling. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, p. 1-11, 2023.

KREMEN, Claire. Reframing the land-sparing/land-sharing debate for biodiversity conservation. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1355, n. 1, p. 52-76, 2015.

LAMBERS, Janneke H. R. Extinction risks from climate change. **Science**, v. 348, n. 6234, p. 501-502, 2015.

LANFRANCO, Bruno et al. Historical changes in the Pampas biome, land use, and climate change. In: **Handbook of Behavioral Economics and Climate Change**. Edward Elgar Publishing, 2022. p. 162-191.

LENOIR, Jonathan et al. Species better track climate warming in the oceans than on land. **Nature ecology & evolution**, v. 4, n. 8, p. 1044-1059, 2020.

LEVINSKY, Irina et al. Potential impacts of climate change on the distributions and diversity patterns of European mammals. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, p. 3803-3816, 2007.

LOYOLA, Rafael D. et al. Severe loss of suitable climatic conditions for marsupial species in Brazil: challenges and opportunities for conservation. 2012.

MALAKOUTIKHAH, Shima et al. Assessing future distribution, suitability of corridors and efficiency of protected areas to conserve vulnerable ungulates under climate change. **Diversity and Distributions**, v. 26, n. 10, p. 1383-1396, 2020.

MALHI, Yadvinder et al. Climate change and ecosystems: threats, opportunities and solutions. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 375, n. 1794, p. 20190104, 2020.

MANES, Stella et al. Endemism increases species' climate change risk in areas of global biodiversity importance. **Biological Conservation**, v. 257, p. 109070, 2021.

MANTYKA-PRINGLE, Chrystal S. et al. Climate change modifies risk of global biodiversity loss due to land-cover change. **Biological Conservation**, v. 187, p. 103-111, 2015.

MELBOURNE-THOMAS, Jess et al. Poleward bound: adapting to climate-driven species redistribution. **Reviews in Fish Biology and Fisheries**, p. 1-21, 2021.

MELI, Paula; REY-BENAYAS, José María; BRANCALION, Pedro HS. Balancing land sharing and sparing approaches to promote forest and landscape restoration in agricultural landscapes: Land approaches for forest landscape restoration. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 4, p. 201-205, 2019.

MICHAEL, Damian R. et al. Influence of land sharing and land sparing strategies on patterns of vegetation and terrestrial vertebrate richness and occurrence in Australian endangered eucalypt woodlands. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 227, p. 24-32, 2016.

MODERNEL, Pablo et al. Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. **Environmental Research Letters**, v. 11, n. 11, p. 113002, 2016.

MOURA, Mario R. et al. Climate change should drive mammal defaunation in tropical dry forests. **Global Change Biology**, v. 29, n. 24, p. 6931-6944, 2023.

NEWBOLD, Tim. Future effects of climate and land-use change on terrestrial vertebrate community diversity under different scenarios. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 285, n. 1881, p. 20180792, 2018.

NUNEZ, Sarahi et al. Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2° C enough?. **Climatic Change**, v. 154, p. 351-365, 2019.

OLSON, David M. et al. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth: A new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity. **BioScience**, v. 51, n. 11, p. 933-938, 2001.

OTT, Paulo H. ; BORDIN, Juçara. Planejamento para a Conservação da Biodiversidade: uma Abordagem Prática e Interdisciplinar de Ensino. **Biodiversidade Brasileira**, v. 11, n. 3, 2021.

OVERBECK, Gerhard E. et al. Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007.

OVERBECK, Gerhard E. et al. Brazil's neglected biome: the South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007.

PACIFICI, Michela et al. Assessing species vulnerability to climate change. **Nature climate change**, v. 5, n. 3, p. 215-224, 2015.

PAGLIA, Adriano P. et al. Lista Anotada dos Mamíferos do Brasil 2ª Edição/annotated checklist of Brazilian mammals. **Occasional papers in conservation biology**, v. 6, n. 6, 2012

PARMESAN, Camille; YOHE, Gary. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **nature**, v. 421, n. 6918, p. 37-42, 2003.

PECL, Gretta T. et al. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. **Science**, v. 355, n. 6332, p. eaai9214, 2017.

PEKIN, Burak K.; PIJANOWSKI, Bryan C. Global land use intensity and the endangerment status of mammal species. **Diversity and Distributions**, v. 18, n. 9, p. 909-918, 2012.

PHILLIPS, Steven J. et al. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological modelling**, v. 190, n. 3-4, p. 231-259, 2006.

PINTO, Fernando A. S. et al. How many mammals are killed on Brazilian roads? Assessing impacts and conservation implications. **Diversity**, v. 14, n. 10, p. 835, 2022.

POSSINGHAM, Hugh et al. Protected areas: goals, limitations, and design. 2006.

RADCHUK, Viktoriia et al. Adaptive responses of animals to climate change are most likely insufficient. **Nature communications**, v. 10, n. 1, p. 3109, 2019.

RAMOS, Rafael G. et al. Current policies are insufficient to protect or restore Brazil's cost-effective conservation priority zones. **Environmental Research Letters**, v. 18, n. 6, p. 065006, 2023.

RIBEIRO, Bruno R. et al. Assessing mammal exposure to climate change in the Brazilian Amazon. **PloS one**, v. 11, n. 11, p. e0165073, 2016.

RIBEIRO, Bruno R. et al. Assessing mammal exposure to climate change in the Brazilian Amazon. **PloS one**, v. 11, n. 11, p. e0165073, 2016.

Rio Grande do Sul, Estado do. 2014. Decreto n.º 51.797, de 8 de setembro de 2014. Declara as Espécies da Fauna Silvestre Ameaçadas de Extinção no Estado do Rio Grande do Sul. Diário Oficial do estado do Rio Grande do Sul 173.

ROSALES, Jon. Economic growth, climate change, biodiversity loss: distributive justice for the global north and south. **Conservation Biology**, v. 22, n. 6, p. 1409-1417, 2008.

ROUNSEVELL, Mark D. A. et al. A biodiversity target based on species extinctions. **Science**, v. 368, n. 6496, p. 1193-1195, 2020.

SALES, Lilian P. et al. Climate and land-use change will lead to a faunal "savannization" on tropical rainforests. **Global Change Biology**, v. 26, n. 12, p. 7036-7044, 2020.

SCANES, Colin G. Human activity and habitat loss: destruction, fragmentation, and degradation. In: **Animals and human society**. Academic Press, 2018. p. 451-482.

SCHEFFERS, Brett R. et al. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. **Science**, v. 354, n. 6313, p. aaf7671, 2016.

SEARCY, Christopher A.; SHAFFER, Bradley H. Do ecological niche models accurately identify climatic determinants of species ranges?. **The American Naturalist**, v. 187, n. 4, p. 423-435, 2016.

SINTAYEHU, Dejene W. Impact of climate change on biodiversity and associated key ecosystem services in Africa: a systematic review. **Ecosystem health and sustainability**, v. 4, n. 9, p. 225-239, 2018.

SOROYE, Peter et al. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. **Science**, v. 367, n. 6478, p. 685-688, 2020.

SOULÉ, Michael E. What is conservation biology?. **BioScience**, v. 35, n. 11, p. 727-734, 1985.

SOUTULLO, Álvaro et al. A. Especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Vertebrados, moluscos continentales y plantas vasculares. **Sistema Nacional de Áreas Protegidas/Dirección Nacional de Medio Ambiente/Ministerio de Vivienda Desarrollo Territorial y Medio Ambiente/Dirección de Ciencia y Tecnología/Ministerio de Educación y Cultura. Montevideo**, 2013.

STANIMIROVA, Radost et al. Widespread changes in 21st century vegetation cover in Argentina, Paraguay, and Uruguay. **Remote Sensing of Environment**, v. 282, p. 113277, 2022.

TAHA, Sara M. et al. Discovery of the True Relationship Between Biodiversity and Economic Growth in Light of COVID-19. In: **Climate Change and Environmental Sustainability**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 173-184.

THORNES, Tobias. Animals and climate change. **Journal of Animal Ethics**, v. 6, n. 1, p. 81-88, 2016.

THORNTON, Philip K. et al. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. **Global change biology**, v. 20, n. 11, p. 3313-3328, 2014.

TILMAN, David; LEHMAN, Clarence. Human-caused environmental change: impacts on plant diversity and evolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 98, n. 10, p. 5433-5440, 2001.

TOIVONEN, Tuuli et al. Social media data for conservation science: A methodological overview. **Biological Conservation**, v. 233, p. 298-315, 2019.

TOL, Richard SJ. The economic impacts of climate change. **Review of environmental economics and policy**, 2018.

TRISURAT, Yongyut et al. Assessing potential effects of land use and climate change on mammal distributions in northern Thailand. **Wildlife Research**, v. 41, n. 6, p. 522-536, 2015.

URBAN, Mark C. Accelerating extinction risk from climate change. **Science**, v. 348, n. 6234, p. 571-573, 2015.

URBAN, Mark C. et al. Improving the forecast for biodiversity under climate change. **Science**, v. 353, n. 6304, p. aad8466, 2016.

URBAN, Mathias; SWADENER, Beth. Democratic accountability and contextualised systemic evaluation: A comment on the OECD initiative to launch an International Early Learning Study (IELS). **International Critical Childhood Policy Studies**, v. 5, n. 1, p. 6-18, 2016.

VAN DYKE, Fred et al. The history and distinctions of conservation biology. **Conservation biology: foundations, concepts, applications**, p. 1-34, 2020.

VERDUM, Roberto et al. Pampa: The south Brazil**. The physical geography of Brazil: environment, vegetation and landscape**, p. 7-20, 2019.

VITOUSEK, Peter M. et al. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

WEISKOPF, Sarah R. et al. Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. **Science of the Total Environment**, v. 733, p. 137782, 2020.

WHITELAW, Paul A. et al. Denis. Protected areas, conservation and tourism–financing the sustainable dream. **Journal of Sustainable Tourism**, v. 22, n. 4, p. 584-603, 2014.