

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E  
CONSERVAÇÃO**

**DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE SERPENTES  
AMEAÇADAS E COM DADOS INSUFICIENTES DO  
CERRADO EM CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA:  
LACUNA WALLACEANA E CONSERVAÇÃO**

Autor: Kauê Vergílio Silva  
Orientadora: Dra. Levi Carina Terribile  
Coorientador: Dr. Matheus de Souza Lima  
Ribeiro

**RIO VERDE - GO  
Novembro de 2020**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E  
TECNOLOGIA GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E  
CONSERVAÇÃO**

**DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE SERPENTES  
AMEAÇADAS E COM DADOS INSUFICIENTES DO  
CERRADO EM CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA:  
LACUNA WALLACEANA E CONSERVAÇÃO**

Autor: Kauê Vergílio Silva  
Orientadora: Dra. Levi Carina Terribile  
Coorientador: Dr. Matheus de Souza Lima  
Ribeiro

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio Verde - Área de Concentração: Conservação dos Recursos Naturais.

**RIO VERDE – GO  
Novembro de 2020**

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

VV497d Vergílio Silva, Kauê  
Distribuição geográfica de serpentes ameaçadas e com dados insuficientes do cerrado em cenários de mudança climática: lacuna Wallaceana e conservação / Kauê Vergílio Silva; orientadora Levi Carina Terribile; co-orientador Matheus de Souza Lima Ribeiro. -- Rio Verde, 2020.  
46 p.

Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) -- Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2020.

1. Modelo de nicho ecológico. 2. Potencial distribuição. 3. Serpentes. 4. Cerrado. 5. Conservação. I. Terribile, Levi Carina, orient. II. Ribeiro, Matheus de Souza Lima, co-orient. III. Título.

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

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

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

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

Nome Completo do Autor: Kauê Vergílio Silva

Matrícula: 2018202310840050

Título do Trabalho: Distribuição Geográfica De Serpentes Ameaçadas E Com Dados Insuficientes Do Cerrado Em Cenários De Mudança Climática: Lacuna Wallaceana E Conservação

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 25 / 05 / 2021

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

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

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

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

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

Rio Verde - GO, 25 / 05 / 2021.  
Local Data

*Kauê Vergílio Silva*

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

*[Assinatura]*

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 81/2020 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

## PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

### ATA Nº/49

## BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos trinta dias do mês de novembro do ano de dois mil e vinte, às 13h30min (treze horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **Kauê Vergílio Silva**, discente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Levi Carina Terribile, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o examinado, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação Biodiversidade e Conservação, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**, na área de concentração em Conservação dos Recursos Naturais, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBio da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação em periódicos após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof <sup>ª</sup> . Dr <sup>ª</sup> . Levi Carina Terribile	UFJ - Jataí	Presidente
Prof. Dr. Alessandro Ribeiro de Moraes	IF Goiano - Rio Verde	Membro interno

Prof. Dr. Marlon Zortéa	UFJ - Jataí	Membro externo
-------------------------	-------------	----------------

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marlon Zortéa, Marlon Zortéa - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Jatai (35840659000130)**, em 18/12/2020 15:13:17.
- **Alessandro Ribeiro de Moraes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 01/12/2020 22:29:09.
- **Levi Carina Terribile, Levi Carina Terribile - codigo - termo - Instituto Federal Goiano (1)**, em 01/12/2020 15:46:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 01/12/2020. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 217313

Código de Autenticação: 8823fc892e



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3620-5600

*Dedicatória*

Dedico este trabalho a todos que buscam o conhecimento e fazem infindáveis sacrifícios para alcançar tal objetivo, ainda que atravancados pelos atuais cenários da política e saúde.

## AGRADECIMENTOS

São agradecimentos sinceros, profundos e verdadeiros que começam primeiramente a Deus. Sim, sou Biólogo e crente que a ciência coexiste com a existência divina. A minha Mãe Edna Silveira Silva Barbeiro, mulher guerreira que me criou e educou em meio às dificuldades, sendo pai e mãe (deu tudo certo, hoje estamos colhendo os frutos, a Sra. é *show!*).

Minha total gratidão a minha orientadora, Professora Doutora Levi Carina Terribile, que me deu todo o suporte e apoio no meio de tantas adversidades, imprevistos e situações atípicas que ocorreram durante esse período de pesquisa. Sem ela, com certeza eu não conseguiria alcançar esse objetivo. Agradeço por estar envolto de mulheres fortes, que me inspiram diariamente.

Gratidão ao meu coorientador Professor Doutor Matheus de Souza Lima Ribeiro, que aceitou a missão nos primórdios, dando dicas, possibilitando ensinamentos e proporcionando boas e incontidas gargalhadas. Você é uma das poucas pessoas em quem eu me espelho para ser um profissional competente e reconhecido, acima de tudo é um grande amigo.

Aos meus amigos Seixas Rezende, Marco Antônio Guimarães, Bruno Bittar, Roniel Freitas e Marlon Zortéa (Um grande amigo e uma pessoa que eu me espelho como profissional) que estiveram comigo em campo, coletando os dados e contribuindo com conhecimentos específicos. Foram muitas histórias, risadas e dificuldades superadas.

Aos meus colegas de mestrado, afinal foram dois anos juntos, onde aprendemos a deixar de lado as diferenças e olhar o melhor de cada indivíduo. São tantas as pessoas que me ajudaram direta ou indiretamente que por receio de esquecer algumas, dedico este parágrafo a todos os que não estão supracitados, cada um contribuiu para a minha formação de um modo fundamental e próprio.



Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Goiano Campus Rio Verde, por me proporcionar a oportunidade de cursar o mestrado em Biodiversidade e Conservação. Ao laboratório de macroecologia da Universidade Federal de Jataí por ceder o espaço físico, materiais e meios para a realização da pesquisa e à FAPEG pelo financiamento do projeto do qual este trabalho faz parte.

MUITO OBRIGADO!

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

Kauê Vergílio Silva, nascido em São Caetano do Sul - SP em 25 de novembro de 1989. Concluiu o ensino médio no Colégio Estadual Professora Alice Pereira Alves, na cidade de Mineiros/GO. Graduado em Ciências Biológicas modalidade Bacharelado no ano de 2010, pela Universidade Federal de Goiás, campus Jataí. Pós-graduado em Perícia e Auditoria Ambiental no ano de 2015, pela Faculdade UNINTER, polo Vitória da Conquista – BA. Pós-graduado em Gestão Executiva de Projetos pela Faculdade Unyleya no ano de 2020. Em 2018 ingressou na pós-graduação Stricto Sensu, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, no Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação.

## INDICE

	Página
RESUMO.....	XI
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUÇÃO.....	15
MATERIAL E MÉTODOS.....	19
LEVANTAMENTO DAS ESPÉCIES AMEAÇADAS E COM DADOS INSUFICIENTES E COLETA DE DADOS.....	20
CONSTRUÇÃO DOS MODELOS.....	21
DINÂMICA DE DISTRIBUIÇÃO.....	22
REPRESENTATIVIDADE DAS ESPÉCIES NAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO (UCs).....	22
COLETA EM CAMPO.....	23
RESULTADOS.....	24
LACUNA WALLACEANA.....	24
MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	30
DISCUSSÃO.....	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	42

**INDICE DE TABELAS**

	Página
TABELA 1. ESPÉCIES ALVO IDENTIFICADAS COM BASE NA LISTA OFICIAL DE SERPENTES AVALIADAS PELO ICMBIO.....	24
TABELA S1 LISTA COM OS REGISTROS CONHECIDOS DE DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES ALVO, EXTRAÍDAS DO BANCO DE DADOS DO “ATLAS OF BRAZILIAN SNAKES: VERIFIED POINT-LOCALITY MAPS TO MITIGATE THE WALLACEAN SHORTFALL IN A MEGADIVERSE SNAKE FAUNA” DE NOGUEIRA ET AL. (2019) .....	42

## INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DAS ESPÉCIES AMEAÇADAS: A) APOSTOLEPIS SERRANA; B) APOSTOLEPIS STRIATA; C) HY;DRODYNASTES MELANOGIGAS; D) PHALOTRIS MULTIPUNCTATUS; E) PHILODRYAS LÍVIDA, NO BIOMA CERRADO (EM CINZA). OS PONTOS VERMELHOS REPRESENTAM OS REGISTROS DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE. AS ÁREAS VERDES REPRESENTAM A ÁREA POTENCIAL PARA OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE, MAS QUE AINDA NÃO FORAM EFETIVAMENTE REGISTRADAS EM CAMPO.....	27
FIGURA 2. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DAS ESPÉCIES DDs: A) APOSTOLEPIS CERRADOENSIS; B) APOSTOLEPIS CHRISTINEAE; C) APOSTOLEPIS INTERMEDIA; D) APOSTOLEPIS LINEATA; E) ATRACTUS EDIOI; F) PHALOTRIS CONCOLOR; G) SIPHLOPHIS LEUCOCEPHALUS, NO BIOMA CERRADO (EM CINZA). OS PONTOS VERMELHOS REPRESENTAM OS REGISTROS DE OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE. AS ÁREAS VERDES REPRESENTAM A ÁREA POTENCIAL PARA OCORRÊNCIA DA ESPÉCIE, MAS QUE AINDA NÃO FORAM EFETIVAMENTE REGISTRADAS EM CAMPO. <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 3. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DA RIQUEZA DE ESPÉCIES NO CERRADO. OS PONTOS PRETOS REPRESENTAM AS LOCALIDADES ONDE OCORRERAM ESFORÇO AMOSTRAL DE CAMPO. AS ÁREAS COM TONALIDADE VARIANDO DE ROSA A VERDE REPRESENTAM A RIQUEZA DE ESPÉCIES AO LONGO DO CERRADO. A ÁREA CINZA ESCURA REPRESENTA A ABRANGÊNCIA DO BIOMA CERRADO. <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>	
FIGURA 4. COLETA DE CAMPO NOS LOCAIS DE POTENCIAL OCORRÊNCIA DAS ESPÉCIES: A) BUSCA ATIVA EM CUPINZEIROS; B) BUSCA ATIVA EM FRAGMENTO DE CERRADO; C) INDIVÍDUO DE OXYRHOPUS TRIGEMINUS (DUMÉRIL, BIBRON & DUMÉRIL, 1854) REGISTRADO DURANTE BUSCA ATIVA EM ACESSO SECUNDÁRIO; D) INDIVÍDUO DE BOTHROPS MOOJENI (HOGE, 1966) REGISTRADO DURANTE BUSCA ATIVA EM CAVERNA. ....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
FIGURA 5. VARIAÇÃO NO TAMANHO DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DAS ESPÉCIES DE SERPENTES AMEAÇADAS EM CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA; A) ÁREA ADQUIRIDA; B) ÁREA PERDIDA. ....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
FIGURA 6. VARIAÇÃO NO TAMANHO DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DAS ESPÉCIES DE SERPENTES COM DADOS INSUFICIENTES (DD) EM CENÁRIOS DE MUDANÇA CLIMÁTICA; A) ÁREA ADQUIRIDA; B) ÁREA PERDIDA. <b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>	

FIGURA 7. DINÂMICA TEMPORAL (PRESENTE - FUTURO) DO TAMANHO DAS DISTRIBUIÇÕES GEOGRÁFICAS DAS ESPÉCIES DE SERPENTES AMEAÇADAS.**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

FIGURA 8. DINÂMICA TEMPORAL (PRESENTE - FUTURO) DO TAMANHO DAS DISTRIBUIÇÕES GEOGRÁFICAS DAS ESPÉCIES COM DADOS INSUFICIENTES (DD).**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

FIGURA 9. RIQUEZA DE ESPÉCIES DAS SERPENTES ESTUDADAS PARA 2070, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS CLIMÁTICOS RCP45 (A) E RCP85 (B).**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

FIGURA 10. ÍNDICE DE REPRESENTATIVIDADE DAS ESPÉCIES (SRI) PARA AS ESPÉCIES AMEAÇADAS (A) E DD (B) DO CERRADO.....**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

FIGURA S1. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DAS ESPÉCIES DE SERPENTES CONSIDERANDO O CLIMA ATUAL.....**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

FIGURA S2. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DAS ESPÉCIES DE SERPENTES CONSIDERANDO O CENÁRIO CLIMÁTICO RCP45...**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

FIGURA S3. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA POTENCIAL DAS ESPÉCIES DE SERPENTES CONSIDERANDO O CENÁRIO CLIMÁTICO RCP85...**ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.**

## LISTA DE SIMBOLOS, SIGLAS E ABREVIACOES

AOGCM	Modelos de Circulação Geral da Atmosfera-Oceano
AR5	5º Relatório de Avaliação
DD	Dados Insuficientes
ENM	Modelagem de Nicho Ecológico
ESM	Conjuntos de Pequenos Modelos
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MMA	Ministério do Meio Ambiente Brasileiro
RCP	Caminho de Concentração Representativa
RPPN	Reserva Particular do Patrimônio Natural
SBH	Sociedade Brasileira de Herpetologia
SRI	Índice de Representatividade de Espécies
UC	Unidade de Conservação

## RESUMO

VERGÍLIO, KAUÊ SILVA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde-GO, novembro de 2020. **Distribuição geográfica de serpentes ameaçadas e com dados insuficientes do Cerrado em cenários de mudança climática: lacuna Wallaceana e conservação.** Orientadora: Levi Carina Terribile. Coorientador: Matheus de Sousa Lima Ribeiro

O Cerrado sofre intensivas modificações antropogênicas, subsidiadas por novas tecnologias. Essa exploração pode estar associada ao decréscimo da biodiversidade, incluindo as serpentes. Atualmente são conhecidas mais de 200 espécies de serpentes para o Cerrado e sabe-se relativamente pouco a respeito da história natural da maioria destas espécies. Desse modo, ressalta-se a importância de estudos voltados a ampliar o conhecimento de distribuição geográfica das espécies, especialmente de espécies pouco conhecidas ou sob algum grau de ameaça. O estudo abrangeu a realização de previsões a partir de modelos de nicho ecológico levando em consideração dados de ocorrência das espécies e variáveis climáticas, quanto à distribuição potencial das espécies de serpentes no presente e no futuro, bem como as áreas potenciais atuais, complementado através da verificação *in loco* através de busca ativa e encontros ocasionais. Foi analisado o impacto da mudança climática sobre a distribuição das espécies para 2070 e determinada a representatividade nas unidades de conservação do Cerrado quanto a contribuição para a sobrevivência das espécies para o presente e o futuro.



**PALAVRAS-CHAVE:** Modelo de nicho ecológico, potencial distribuição, serpentes, Cerrado e conservação

## ABSTRACT

VERGÍLIO, KAUÊ SILVA. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - Novembro de 2020. **Geographic distribution of threatened snakes and with insufficient data from the cerrado in climate change scenarios: Wallacean Shortfall and conservation.** Orientadora: Levi Carina Terribile. Coorientador: Matheus de Sousa Lima Ribeiro

The Cerrado undergoes intensive anthropogenic changes, subsidized by new technologies. This exploitation may be associated with a decrease in biodiversity, including snakes. Currently, more than 200 species of snakes are known for the Cerrado and relatively little is known about the natural history of most of these species. Thus, it is emphasized the importance of studies aimed at expanding the knowledge of the geographic distribution of species, especially of little-known species or under some degree of threat. The study covered making predictions based on ecological niche models, taking into account species occurrence data and climatic variables, regarding the potential distribution of snake species in the present and in the future, as well as the current potential areas, complemented by *in situ* verification through active search and occasional meetings. The impact of climate change on the distribution of species for 2070 was analyzed and the representativeness of the Cerrado conservation units was determined as to the contribution to the survival of the species for the present and the future.

**KEYWORD:** Ecological niche model, potential distribution, snakes, Cerrado and conservation

## 1 INTRODUÇÃO

Conhecer a distribuição geográfica das espécies com maior precisão é primordial para a preservação da biodiversidade (Hortal *et al.* 2015). O conhecimento sobre a distribuição das espécies ainda é deficiente, e essa deficiência é denominada de lacuna Wallaceana (Lomolino, 2004). Além disso, muitos dos dados de distribuição existentes estão espalhados por uma infinidade de fontes, como publicações taxonômicas, listas de verificação e coleções de história natural (Beck *et al.*, 2013). Compilações e análises de dados de coleções biológicas e literatura, juntamente com a Modelagem de Nicho Ecológico (ENMs), têm sido amplamente utilizadas nos últimos 20 anos como forma de reduzir as lacunas Wallaceanas (Terribile *et al.*, 2018). Avaliar previsões a partir de modelos de nicho quanto à distribuição potencial das espécies de serpentes no futuro e suas áreas potenciais atuais, pode ser utilizada em diversas situações aplicadas, como por exemplo, identificar novas áreas de pesquisas em campo e mapear potenciais para conservação (Leão, 2012).

Atualmente são reconhecidas mais de 11.341 espécies de répteis no mundo (Uetz & Hošek, 2020). Em prossecução, o Brasil conta com 795 espécies de répteis, sendo destas 405 do grupo de serpentes (SBH, 2020). O Brasil segue na terceira posição em riqueza de espécies de répteis do mundo, atrás apenas da Austrália e do México (Uetz & Hošek, 2020). Segundo a SBH (2020), o Cerrado possui cerca de 200 espécies de serpentes. Devido ao grande número de espécies, a riqueza da herpetofauna é considerada subestimada e ainda pouco compreendida (Nogueira *et al.* 2010). As serpentes são especialmente sensíveis às mudanças climáticas (Reading *et al.*, 2010), devido sua associação a fatores como pluviosidade, temperatura e umidade (Bernarde, 2012). O uso da terra e as mudanças climáticas aparecem como dois dos muitos fatores que podem

contribuir para o declínio global dos répteis (Gibbons *et al.*, 2000; Sunny *et al.*, 2017). Desta forma, a utilização de bancos de dados para o desenvolvimento de modelos de distribuição local, associado ao esforço amostral em campo é crucial para melhorar o planejamento futuro de conservação (Brito *et al.*, 2011).

A falta de dados sobre a distribuição é ampla para espécies com tamanho corporal pequeno e hábitos de vida específicos, dificultando o registro (Gaston *et al.*, 1994). As espécies de serpentes com dados insuficiente e ameaçadas de extinção, são em sua maioria, animais que possuem hábito de vida semifossorial e tamanho corporal reduzido (Silva Jr *et al.*, 2005; França *et al.*, 2018).

As mudanças climáticas já causaram impactos na distribuição de organismos em todas as partes nos últimos anos (Chen, 2011). As cobras são sensíveis às mudanças climáticas (Gibbons *et al.*, 2000) e a maioria das espécies possuem atividades diárias dentro de uma pequena variação de temperatura (Aubret & Shine, 2010). A sazonalidade também exerce influência no modo reprodutivo das serpentes (Brown & Shine, 2007), além da incapacidade de rápida adaptação do sistema fisiológico para tolerar as novas condições climáticas (Lawing & Polly, 2011).

Em paralelo, temos a transformação do Cerrado nos últimos anos, representada pela convergência de vários elementos, através das ações antropogênicas. A necessidade de conhecimento sobre a biodiversidade é inerente ao desenvolvimento, devido ao ritmo acelerado de desenvolvimento e expansão humana (Quintana & Hacon, 2011). Com o aumento do conhecimento científico, sabe-se hoje o valor inestimável desse bioma (Barreto, 2007).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi identificar as serpentes ameaçadas e com dados insuficientes, bem como avaliar a distribuição geográfica em cenários de mudanças climáticas. O estudo foi atrelado a verificação *in loco* das predições do modelo, caracterizando-se como um instrumento complementar para indicação de áreas onde novos registros poderiam ser obtidos com o intuito de reduzir a lacuna Wallaceana, bem como prioritárias para conservação de serpentes. Finalmente, considerando a configuração atual da rede de áreas protegidas do Cerrado, determinamos e representatividade das áreas de distribuição das espécies estudadas nas unidades de conservação do Cerrado, a partir da adequabilidade climática para o presente e futuro.

## 1.1 Referências bibliográficas

- Aubret, F., Shine, R. Thermal plasticity in young snakes: how will climate change affect the thermoregulatory tactics of ectotherms? *J Exp Biol.* 2010; 213: 242–248. <https://doi.org/10.1242/jeb.035931> PMID: 20038657
- Barreto, L. Cerrado Norte do Brasil = North Cerrado of Brazil. Pelotas: Ed. USEB, 2007. 378 p.: il.
- Beck, J., Ballesteros-Mejia, L., Nagel, P. and Kitching, I.J. (2013), Online solutions and the ‘Wallacean shortfall’: what does GBIF contribute to our knowledge of species' ranges?. *Diversity Distrib.*, 19: 1043-1050. <https://doi.org/10.1111/ddi.12083>
- Bernarde, P. S. Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira. Curitiba: Anolisbook, 2012. 320 p.: il. ISBN 978-85-65622-00-4
- Brito, J. C.; Fahd, S.; Geniez, P.; Martínez-Freiría, F.; Pleguezuelos, J. M.; Trape, J. F. Biogeography and conservation of viperids from North-West Africa: An application of ecological niche-based models and GIS. *Journal of Arid Environments*, 75 (2011), pp. 1029-1037, [10.1016/j.jaridenv.2011.06.006](https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.06.006)
- Brown, G.P., Shine, R. Rain, prey and predators: Climatically driven shifts in frog abundance modify reproductive allometry in a tropical snake. *Oecologia.* 2007; 154: 361–368. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0842-8> PMID: 17724615
- Chen I. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* (80-). 2011; 333: 1024–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432> PMID: 21852500
- França, D., Barbo, F.E., Silva-Júnior, N.J., Helder L.R.S. e Zaher, H. 2018. Uma nova espécie de *Apostolepis* (Serpentes, Dipsadidae, Elapomorphini) do Cerrado do Brasil Central. *Zootaxa.* 4521 (4); 438–552. DOI: 10.11646 / zootaxa.4521.4.3
- Gaston, K.J., Blackburn, T.M. Are newly described bird species small-bodied? *Biodivers Lett.* 1994; 2: 16–20.
- Gibbons, J.W., Scott, D.E., Ryan, T., Buhlmann, J.K.A., Tuberville, T.D., Metts, B.S., *et al.* The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change, *BioScience*, Volume 50, Issue 8, August 2000, Pages 653–666, [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0653:TGDORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0653:TGDORD]2.0.CO;2)
- Hortal, J., de Bello, F., Diniz-Filho, J.A.F., Lewinsohn, T.M., Lobo, J.M., Ladle, R.J. Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2015; 46: 523–549. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>
- Lawing, A.M., Polly, P.D. Pleistocene climate, phylogeny, and climate envelope models: An integrative approach to better understand species' response to climate change. *PLoS One.* 2011; 6: e28554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028554> PMID: 22164305
- Leão, S. M. História natural, modelagem de distribuição e conservação de *Bothrops itapetiningae* Boulenger, 1907 (Serpentes: Viperidae: Crotalinae), espécie endêmica do Cerrado. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2012. p. 122.

- Lomolino, M. V. Frontiers of Biogeography. In: Lomolino M, Heaney L, editors. Frontiers of Biogeography: New Directions in the Geography of Nature. Sunderland, MA: Sinauer; 2004.
- Nogueira C.; Colli G. R.; Costa G. C.; Machado R. B. Diversidade de reptéis Squamata e evolução do conhecimento faunístico no Cerrado pp. 333–375. In: DINIZ I. R.; MARINHO-FILHO J.; MACHADO R. B.; & CAVALCANTI R. B. (eds), Cerrado: conhecimento científico quantitativo como subsídio para ações de conservação, Editora UnB, Brasília, 2010. 496 pp. ISBN: 9788570629647.
- Quintana, A.C.; Hacon, V. O desenvolvimento do capitalismo e a crise ambiental. O Social em Questão - Ano XIV - nº 25/26, p. 427 - 444 – 2011.
- SBH. Brazilian Reptiles List of species. Acessado em 23 de outubro de 2020. <http://www.sbherpetologia.org.br>.
- Silva, J.R., Nelson Jorge D.A. *et al.* Uma nova espécie do gênero *Atractus wagler*, 1928 (Colubridae: Dipsadinae) do Cerrado do Brasil Central. Pap. Avulsos Zool. (São Paulo), São Paulo, v. 45, n. 3, p. 33-39, 2005. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0031-10492005000300001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0031-10492005000300001&lng=en&nrm=iso)>. access on 18 Nov. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0031-10492005000300001>.
- Terribile, L.C., Feitosa, D.T., Pires, M.G., de Almeida, P.C.R., de Oliveira, G., *et al.* (2018 Reducing Wallacean shortfalls for the coralsnakes of the *Micrurus lemniscatus* species complex: Present and future distributions under a changing climate. PLOS ONE 13(11): e0205164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205164>
- Uetz, P.; Hošek, J. 2020. The Reptile Database. Acessado em 17 de outubro de 2020. [www.reptile-database.org](http://www.reptile-database.org).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Reduzir as lacunas no conhecimento para espécies de serpentes ameaçadas e com dados insuficientes do Cerrado.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Identificar as espécies alvo de serpentes do Cerrado ameaçadas e com dados insuficientes;

Avaliar as previsões dos modelos de nicho para o presente e futuro;

Testar a habilidade preditiva dos modelos de nicho com estudos observacionais em campo; e

Determinar a representatividade das unidades de conservação do Cerrado quanto à adequabilidade ambiental para sobrevivência das serpentes ameaçadas e com dados insuficientes para o presente e futuro.



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Levantamento Das Espécies Ameaçadas E Com Dados Insuficientes E Coleta De Dados

O levantamento das espécies de serpentes ocorreu com base na lista de serpentes ([www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/estado-de-conservacao/2790-repteis-serpentes](http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/estado-de-conservacao/2790-repteis-serpentes)) avaliadas pelo ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade), disponibilizado em sua plataforma. Foram considerados dois grupos: categoria de ameaçadas (“Criticamente em perigo”, “Em perigo” ou “Vulnerável”) e dados insuficientes (DD) com distribuição no bioma Cerrado.

Os dados de ocorrência das espécies foram obtidos através do banco de dados disponibilizado no trabalho de Nogueira *et al.* (2019). O foco neste trabalho, foi principalmente por apresentar a primeira coleção abrangente de mapas detalhados, baseados em exemplares de coleções científicas, de localidade e de alcance para todas as cobras brasileiras descritas e documentadas, com o objetivo principal de mitigar a lacuna Wallaceana, contribuindo para um melhor entendimento deste grupo megadiverso e mal estudado (Nogueira *et al.*, 2019). A tabela com o registro das espécies selecionadas para este estudo está apresentada no material suplementar - Tabela S1.

### 3.2 Construção dos modelos

Para construção dos modelos de nicho ecológico, utilizamos os mapas de variáveis climáticas disponíveis no banco de dados WorldClim (<https://www.worldclim.org/>) para os períodos presente (1960-1990) e futuro (período de 2070), ambos da Versão 1.4 e com resolução de 30 segundos (~1 km). Para o futuro, consideramos simulações climáticas de quatro cenários de forçamento radiativos (Representative Concentration Pathways - RCP) divulgados no 5º Relatório de Avaliação (AR5) do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (IPCC, 2014), sendo um cenário mais otimista com baixa emissão de gases do efeito estufa (RCP 26), dois cenários intermediários (RCP 45 e RCP 60) e um cenário mais pessimista com alta emissão (RCP 85). Baixamos 19 variáveis bioclimáticas do presente e para o futuro 3 AOGCMs (Atmosphere–Ocean General Circulation Models), sendo eles CCSM4 (CC), HadGEM2-AO (HD) e MIROC ESM (MR).

A distribuição das espécies foi modelada para o presente e projetada para os cenários climáticos futuros (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 e RCP8.5), utilizando métodos de modelagem de nicho baseadas apenas em presenças. Esses modelos iniciais foram combinados para obter o mapa final de adequabilidade climática para as espécies no presente e no futuro (Araújo & New, 2007; Diniz Filho *et al.*, 2009).

Delimitamos nossa área de estudo para construir os modelos visando abranger todo o bioma Cerrado e áreas adjacentes considerando que algumas espécies poderiam ter registros fora do bioma. Para a construção dos modelos, utilizamos a proposta de Breiner *et al.* (2015) intitulada “Ensembles of Small Models” (ESMs), fortemente aconselhada em casos de baixo número de pontos de ocorrência e um grande número de variáveis climáticas, como o caso deste estudo. Devido às limitações para modelagem do nicho ecológico, separamos as espécies em dois grupos de acordo com a quantidade de pontos de ocorrência: um grupo de espécies que possuíam de 4 a 25 pontos de ocorrência e outro com 3 ou menos pontos de ocorrência. Neste último caso, utilizamos apenas o método da Distância Euclidiana para modelar suas distribuições potenciais. Para o grupo de espécies com 4 a 25 pontos de ocorrência, utilizamos 5 métodos baseados em dados apenas de presença, sendo eles Bioclim, Enfa, Gower, Maxent e SVM.

Por fim, obtivemos os mapas binários de distribuição geográfica de cada espécie considerando a menor adequabilidade para o clima atual em 5% da área de estudo (ou seja, excluindo-se 95% da área com os menores valores de adequabilidade) e em cada cenário climático futuro (RCPs). Os modelos foram gerados no software R (R Core Team, 2020).

### **3.3 Dinâmica de distribuição**

Para analisar a dinâmica de distribuição das espécies ao longo do tempo, utilizamos os mapas binários obtidos a partir dos modelos de nicho e mensuramos a quantidade de área adquirida e perdida do presente em relação a 2070, bem como a dinâmica de redução/expansão da área de distribuição das espécies do presente para o futuro.

### **3.4 Representatividade das espécies nas Unidades de Conservação (UCs)**

Para todos os cenários climáticos, avaliamos a representatividade das espécies dentro das UCs utilizando a abordagem proposta por Alagador *et al.* (2011), conhecida como *Species Representativeness Index* (SRI), que quantifica a proporção da célula da grid que está protegida e é adequada climaticamente para a espécie. Para obter o SRI, mapeamos todas as UCs e Terras Indígenas listadas no banco de dados do Ministério do Meio Ambiente Brasileiro (MMA) (disponível em <http://www.mma.gov.br>), além das Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPNs) listadas no banco de dados do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (disponível em <http://www.icmbio.gov.br>).

Assim, para cada espécie obtivemos o valor médio de SRI dado pelo produto entre adequabilidade climática e quantidade de área protegida na área de ocorrência da

espécie. Essas análises foram implementadas no Programa R (R Core Team, 2020), com os pacotes *raster*, *ggplot2* e *Hmisc*.

### 3.5 Coleta em campo

A partir dos mapas de distribuição potencial gerados pelos modelos de nicho, identificamos as áreas do Cerrado para verificação da presença das espécies alvo. Em campo, a amostragem das espécies de serpentes ocorreu através da busca ativa e encontros ocasionais.

A busca ativa ocorreu entremeando fragmentos identificados previamente via imagens de satélite e posteriormente validadas *in loco*. O trajeto foi realizado a partir do deslocamento a pé, através de trilhas dentro da vegetação, campos ou vias de acesso, procurando serpentes que estivessem em atividades ou abrigadas. Durante o deslocamento foram realizadas inspeções em cupinzeiros, cascas de árvores, troncos caídos, serapilheira, dentre outros locais que pudessem servir de abrigo ao grupo. Além dos registros das espécies realizados através dos métodos de amostragem padronizados, foram considerados de forma qualitativa os encontros ocasionais, correspondentes ao encontro de espécimes vivas ou não.

Não houve necessidade de coleta de exemplares testemunhos, porém, obtivemos do ICMBio a autorização para executar as atividades com finalidade científica (coleta, transporte e tombamento de material testemunho). Caso fosse necessário, os indivíduos coletados seriam depositados na Coleção Zoológica do Instituto Federal Goiano, campus Rio Verde. A nomenclatura utilizada seguiu a SBH (2020). Para a identificação das espécies foram realizadas consultas a especialistas.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Lacuna Wallaceana

Utilizando a lista oficial de serpentes avaliadas pelo ICMBio, identificamos 12 espécies, sendo 5 ameaçadas e 7 com dados insuficientes (Tabela 1). Em geral, as espécies de serpentes ameaçadas e DDs do Cerrado brasileiro são pouco conhecidas. Identificamos de 1 a 29 registros por espécie (material suplementar -Tabela S1).

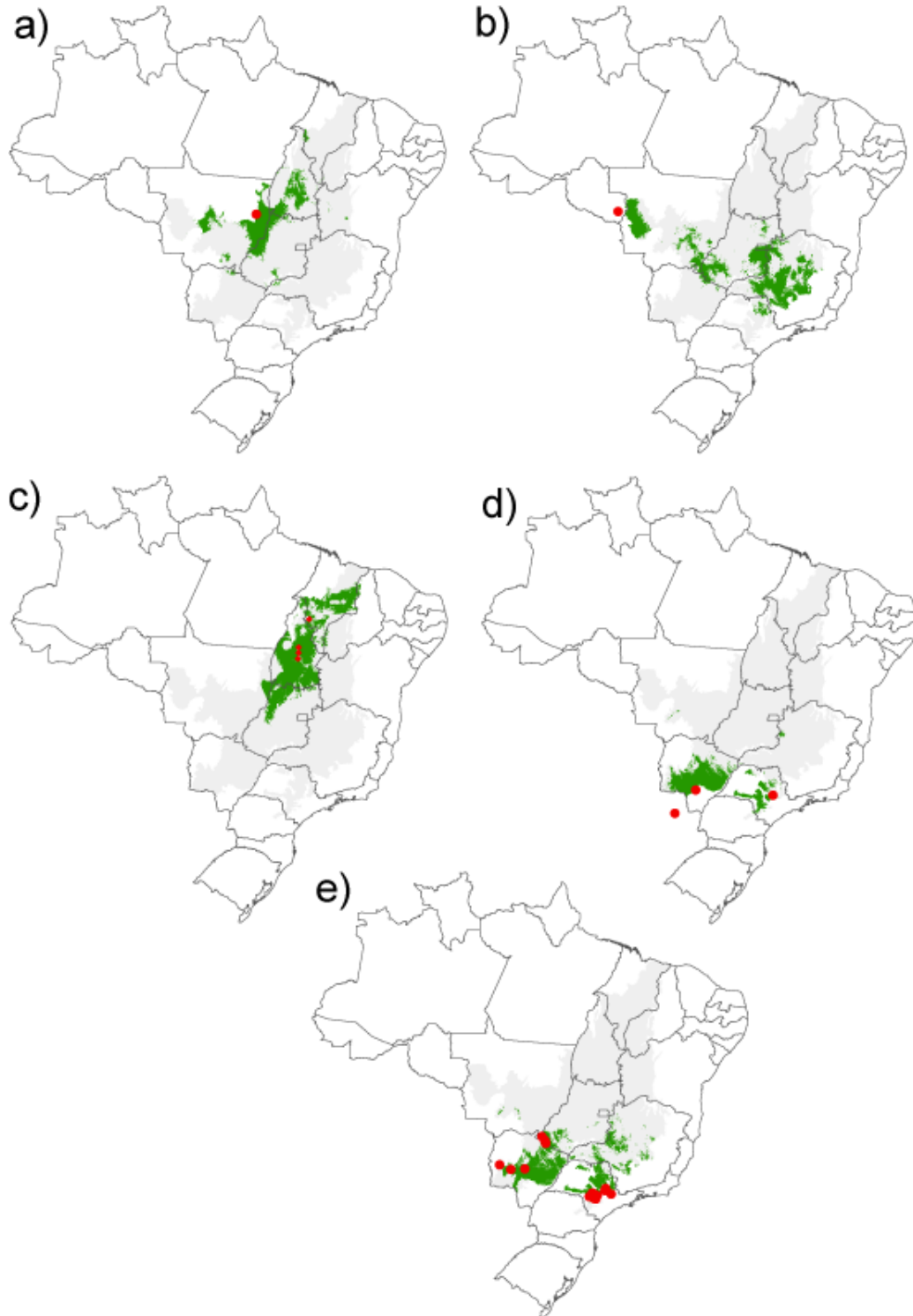
**Tabela 1** - Espécies alvo identificadas com base na lista oficial de serpentes avaliadas pelo ICMBio.

Espécies	Status
<i>Apostolepis serrana</i> Lema & Renner, 2006	Em Perigo
<i>Apostolepis striata</i> Lema, 2004	Em Perigo
<i>Hydrodynastes melanogigas</i> Franco, Fernandes & Bentin, 2007	Em Perigo
<i>Phalotris multipunctatus</i> Puerto & Ferrarezzi, 1994	Em Perigo
<i>Philodryas livida</i> (Amaral, 1923)	Vulnerável
<i>Apostolepis cerradoensis</i> Lema, 2003	Dados Insuficientes
<i>Apostolepis christineae</i> Lema, 2002	Dados Insuficientes
<i>Apostolepis intermedia</i> Koslowsky, 1898	Dados Insuficientes
<i>Apostolepis lineata</i> Cope, 1887	Dados Insuficientes
<i>Atractus edioi</i> Silva Jr., Silva, Ribeiro, Souza & Souza, 2005	Dados Insuficientes
<i>Phalotris concolor</i> Ferrarezzi, 1994	Dados Insuficientes
<i>Siphlophis leucocephalus</i> (Günther, 1863)	Dados Insuficientes

Os modelos de nicho ecológico (*Ensembles of Small Models* - ESM), utilizados para obter a distribuição potencial das espécies alvo no bioma Cerrado, indicaram a existência de áreas potenciais para reduzir a lacuna Wallaceana, ou seja, locais onde o clima é favorável para a ocorrência, porém ainda não foram efetivamente registradas em campo (**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Todas elas possuem áreas interessantes e possíveis de serem utilizadas como estratégia para delimitar novas ações de campo, para tentar melhorar o conhecimento em geral que temos da ocorrência e outros aspectos.

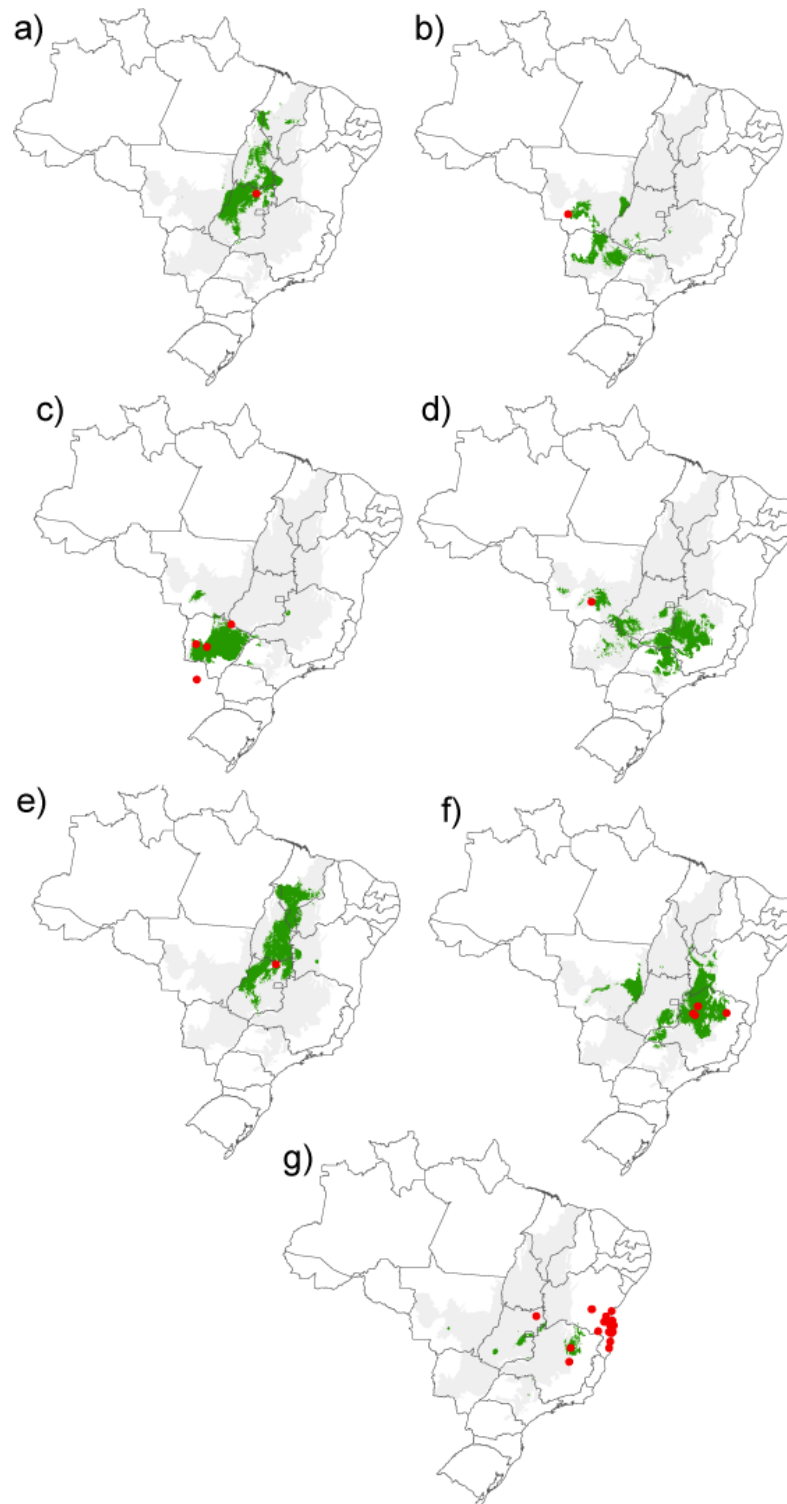
Os resultados dos modelos foram capazes de prever as áreas mais adequadas para ocorrência das espécies nos respectivos domínios morfoclimáticos que se distribuem atualmente (Figura S1, Material Suplementar). Embora para algumas espécies há registros de ocorrências em outros biomas, delimitamos a predição apenas para o Cerrado, uma vez que buscamos identificar as lacunas para o referido Bioma.

**Figura 1** - Distribuição geográfica potencial das espécies ameaçadas: a) *Apostolepis serrana*; b) *Apostolepis striata*; c) *Hydrodynastes melanogigas*; d) *Phalotris multipunctatus*; e) *Philodryas lívida*, no Bioma Cerrado (em cinza). Os pontos vermelhos representam os registros de ocorrência da espécie. As áreas verdes representam a área potencial para ocorrência da espécie, mas que ainda não foram efetivamente registradas em campo.



**Figura 2** - Distribuição geográfica potencial das espécies DDs: a) *Apostolepis cerradoensis*; b) *Apostolepis christineae*; c) *Apostolepis intermedia*; d) *Apostolepis lineata*; e) *Atractus edioi*; f) *Phalotris concolor*; g) *Siphlophis leucocephalus*, no Bioma Cerrado (em cinza). Os pontos vermelhos representam os registros de ocorrência da espécie. As áreas verdes representam a área potencial para ocorrência da espécie, mas que ainda não foram efetivamente registradas em campo.



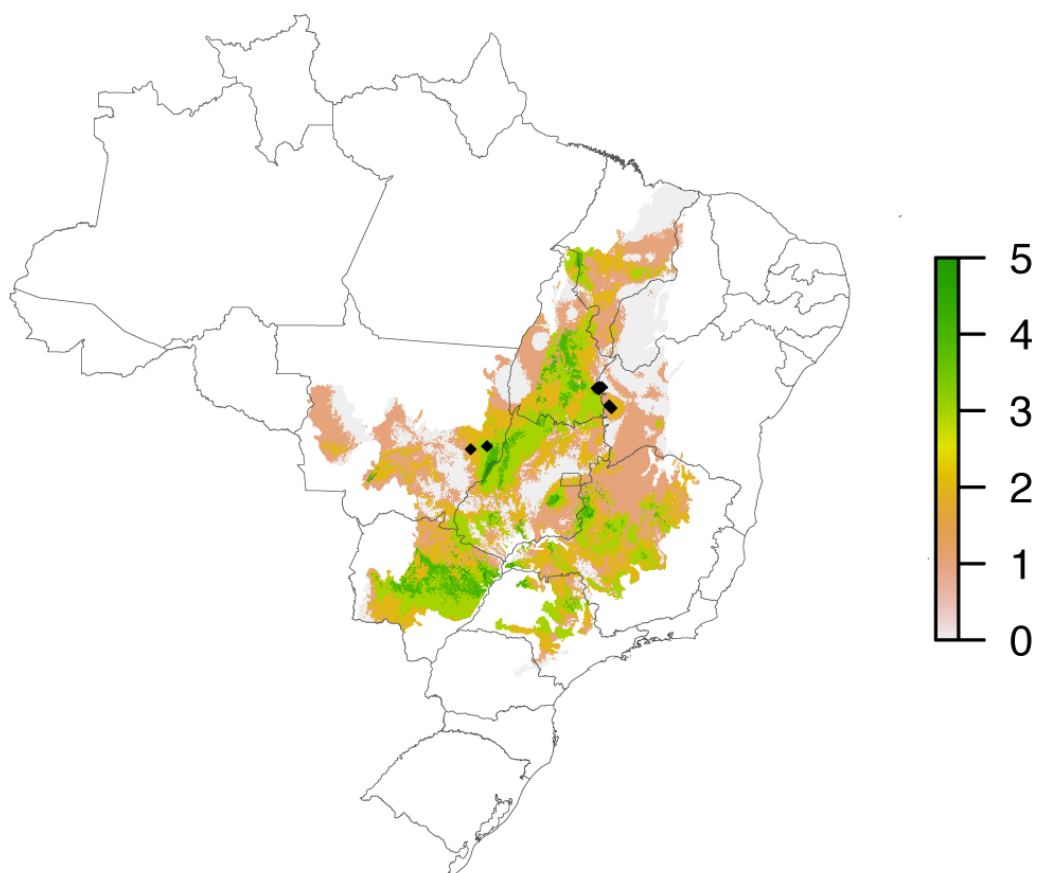


As áreas potenciais de ocorrência das 12 espécies foram sobrepostas, gerando um mapa de riqueza da distribuição potencial (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), indicando maior concentração das espécies analisadas ao norte do bioma (região centro-sul do Tocantins, oeste da Bahia e norte de Goiás), centro (região oeste de Goiás e leste do Mato Grosso) e sul (região sudeste de Mato Grosso do Sul). As regiões

norte e central foram escolhidas para concentração dos esforços de pesquisa em campo, considerando também a disponibilidade de áreas de remanescentes.

Essa abordagem indicou várias áreas ao longo do Cerrado, mesmo para as espécies que só possuem um registro descrito, foi possível apresentar áreas potenciais para novos registros de campo.

**Figura 3** - Distribuição geográfica potencial da riqueza de espécies no Cerrado. Os pontos pretos representam as localidades onde ocorreram esforço amostral de campo. As áreas com tonalidade variando de rosa a verde representam a riqueza de espécies ao longo do Cerrado. A área cinza escura representa a abrangência do bioma Cerrado.



Ocorreram duas coletas de campo, sendo a primeira em novembro de 2019, onde abrangeu a região sul do Tocantins, no município de Dianópolis, e a região oeste da Bahia, no município de Luís Eduardo Magalhães; a segunda em março de 2020 ocorreu na região leste do Mato Grosso, no município de Nova Xavantina. As campanhas tiveram a média de 7 dias efetivos de coleta.

Embora os locais de coleta tenham sido selecionados criteriosamente, bem como a metodologia de busca ativa tenha abrangido os habitats conhecidos e sugeridos, nenhuma das espécies alvo foram registradas durante as campanhas.

**Figura 4** - Coleta de campo nos locais de potencial ocorrência das espécies: a) busca ativa em cupinzeiros; b) busca ativa em fragmento de Cerrado; c) indivíduo de *Oxyrhopus trigeminus* (Duméril, Bibron & Duméril, 1854) registrado durante busca ativa em acesso secundário; d) indivíduo de *Bothrops moojeni* (Hoge, 1966) registrado durante busca ativa em caverna.



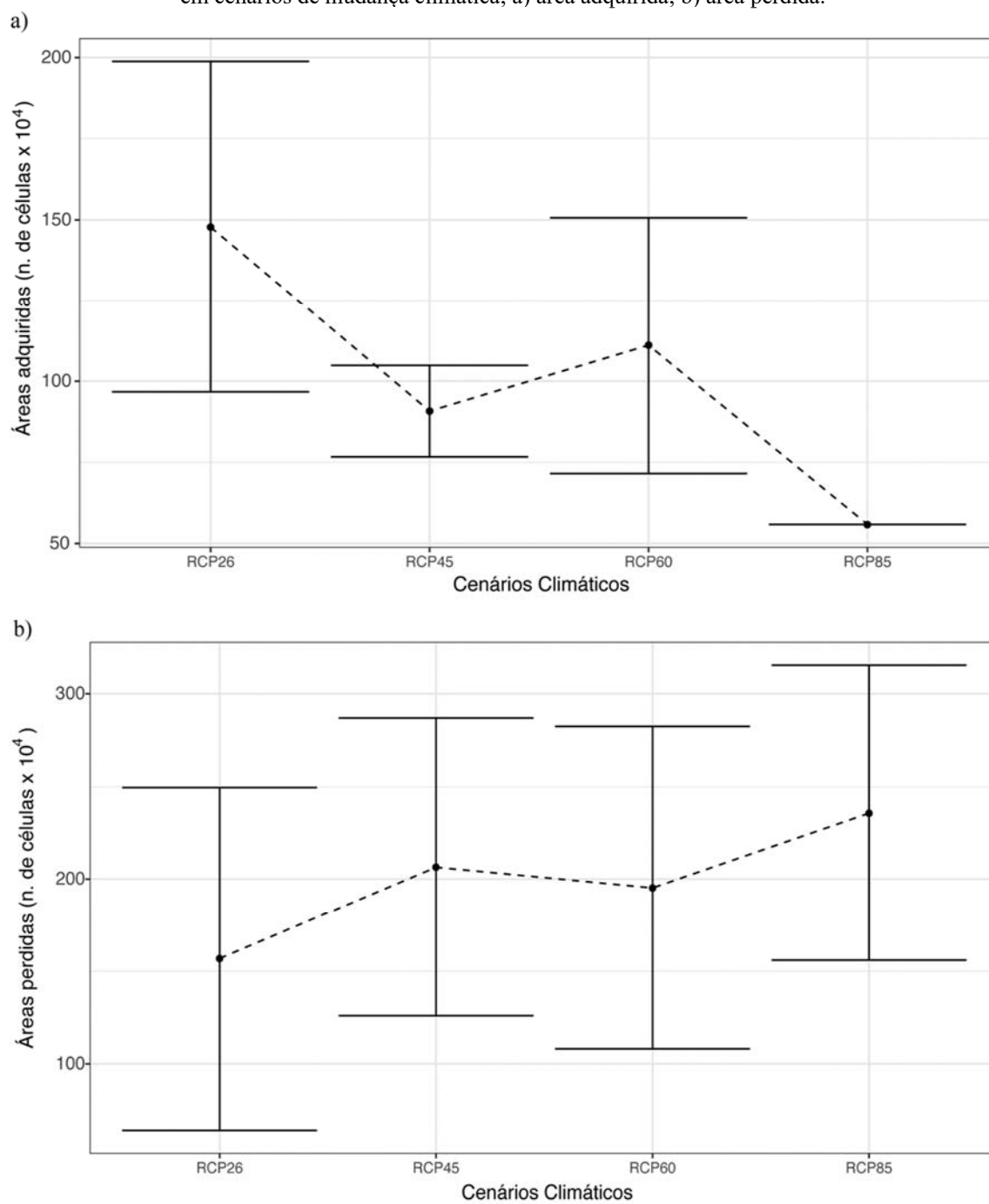
## 4.2 Mudanças Climáticas

As análises do impacto das mudanças climáticas sobre as distribuições indicaram perda de área de ocorrência para as espécies no futuro, embora algumas espécies poderiam expandir suas distribuições quando considerado o cenário mais otimista (RCP26) (Figuras 5a e 6a). Os cenários intermediários (RCP 45 e 60) não diferiram substancialmente nas suas predições. O cenário RCP85, porém, indicou maior impacto das distribuições das espécies. De fato, em média, todas as espécies apresentaram reduções importantes no tamanho da área total de adequabilidade climática para 2070 (Figuras 7 e 8), e particularmente para o cenário mais pessimista RCP85. Considerando que houve pouca diferença na dinâmica das distribuições entre cenários intermediários, optamos para apresentar os resultados subsequentes apenas para um dos cenários intermediários (RCP45), além do cenário pessimista RCP85.

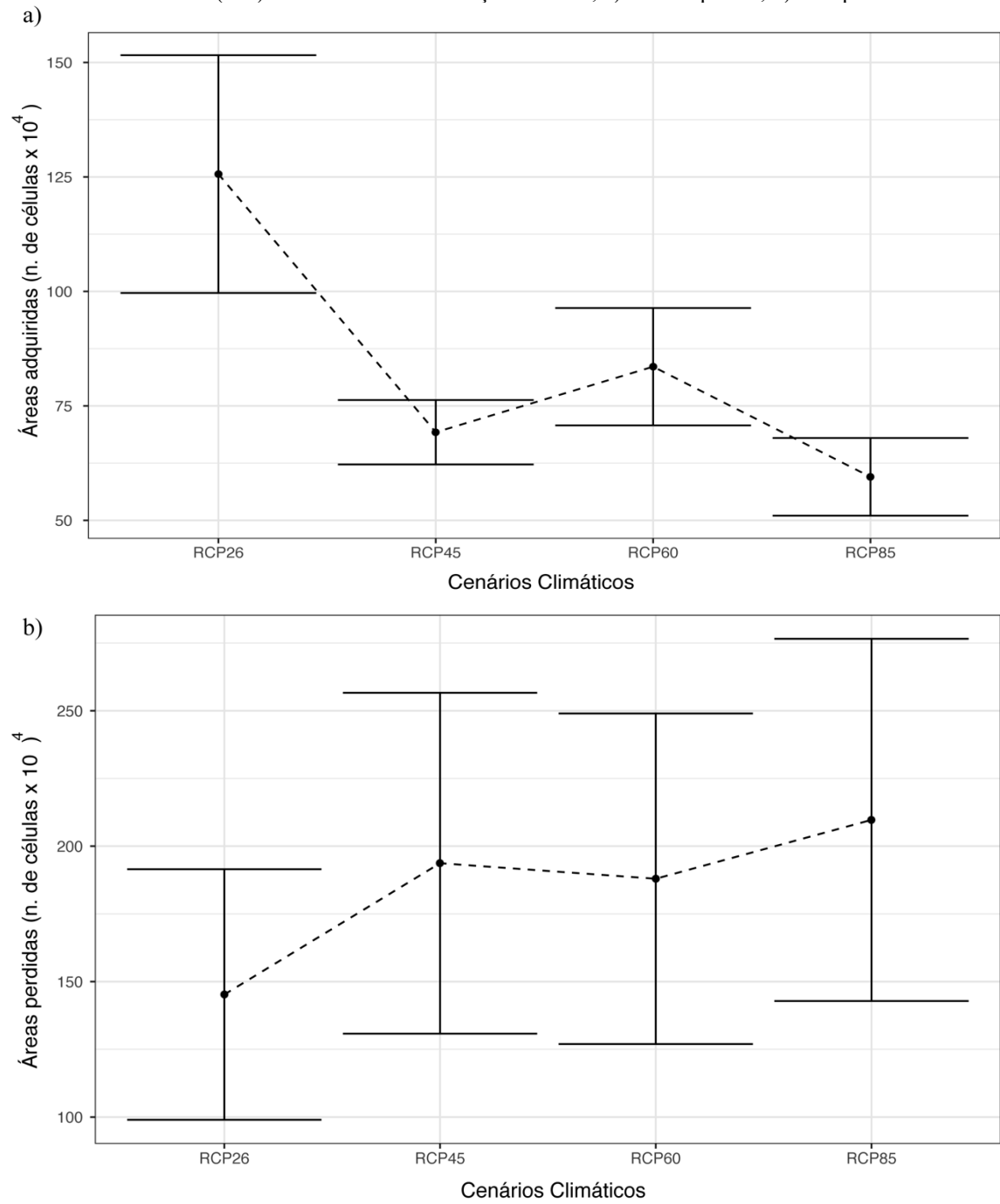
O resultado dos gráficos de variação no tamanho da distribuição geográfica das espécies de serpentes demonstra que o quantitativo de áreas perdidas será maior do que as novas áreas adquiridas (Figuras 5b e 6b), e as espécies ameaçadas perderão maiores áreas no futuro que as DDs. A elevada perda de áreas climaticamente adequadas para as serpentes ameaçadas e DDs pode refletir na necessidade e velocidade de deslocamento de habitat, necessárias para que as espécies se mantenham em condições climáticas toleráveis ao longo do tempo.

De forma geral, a adequabilidade climática das espécies de serpentes ameaçadas e DDs predita para o ano de 2070 (Figura 9), considerando os cenários climáticos RCP45 e RCP85, demonstrou maior riqueza para a região sul e sudeste do Cerrado brasileiro, com deslocamento de habitat em direção à Mata Atlântica até o final do século XXI e nitidamente ocorre redução do tamanho total de área, para todas as espécies à medida que o cenário climático se torna pessimista (a distribuição geográfica potencial de cada espécie alvo de serpente considerando os cenários RCP 45 e RCP85, está disponível no Material Suplementar - **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

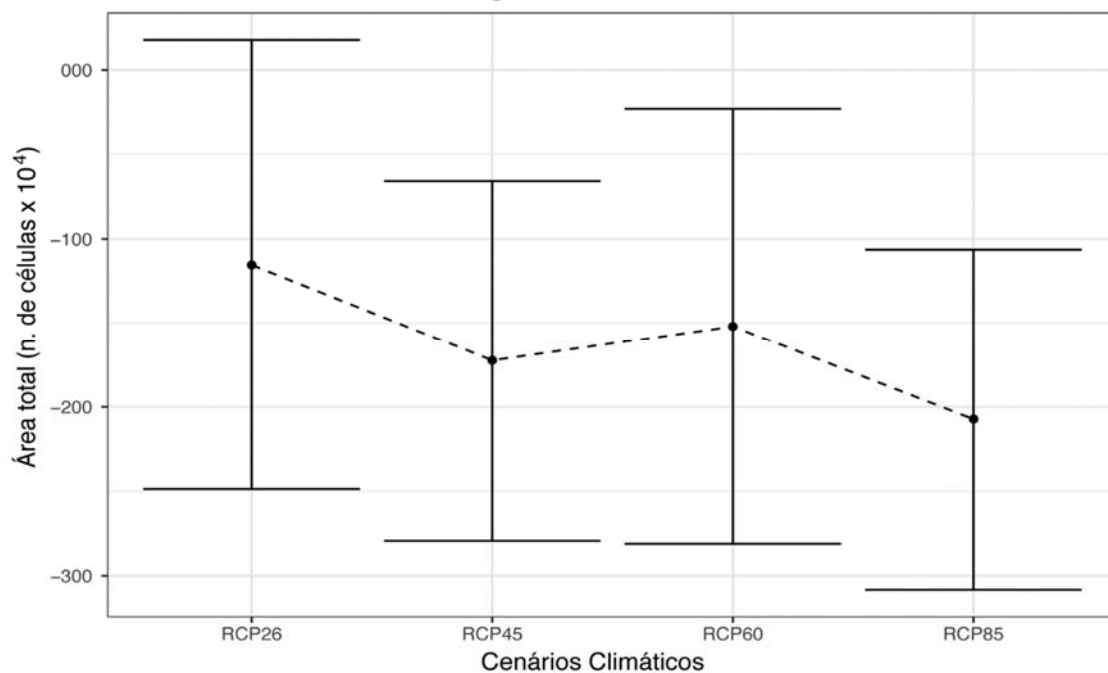
**Figura 5** - Variação no tamanho da distribuição geográfica potencial das espécies de serpentes ameaçadas em cenários de mudança climática; a) área adquirida; b) área perdida.



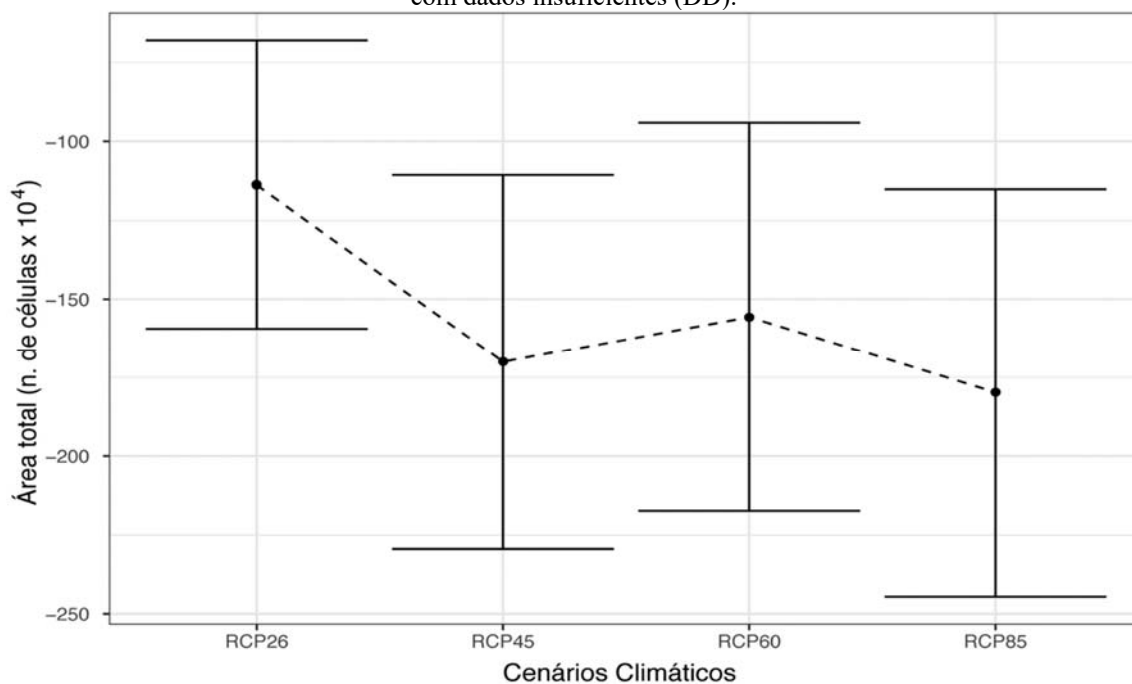
**Figura 6** - Variação no tamanho da distribuição geográfica potencial das espécies de serpentes com dados insuficientes (DD) em cenários de mudança climática; a) área adquirida; b) área perdida.



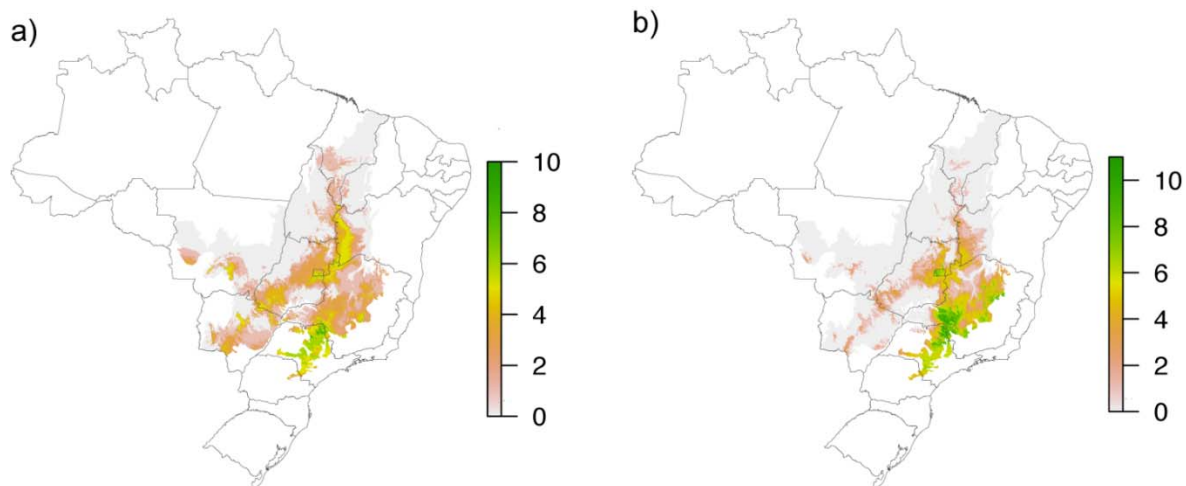
**Figura 7** - Dinâmica temporal (presente - futuro) do tamanho das distribuições geográficas das espécies de serpentes ameaçadas.



**Figura 8** - Dinâmica temporal (presente - futuro) do tamanho das distribuições geográficas das espécies com dados insuficientes (DD).



**Figura 9** - Riqueza de espécies das serpentes estudadas para 2070, considerando os cenários climáticos RCP45 (a) e RCP85 (b).

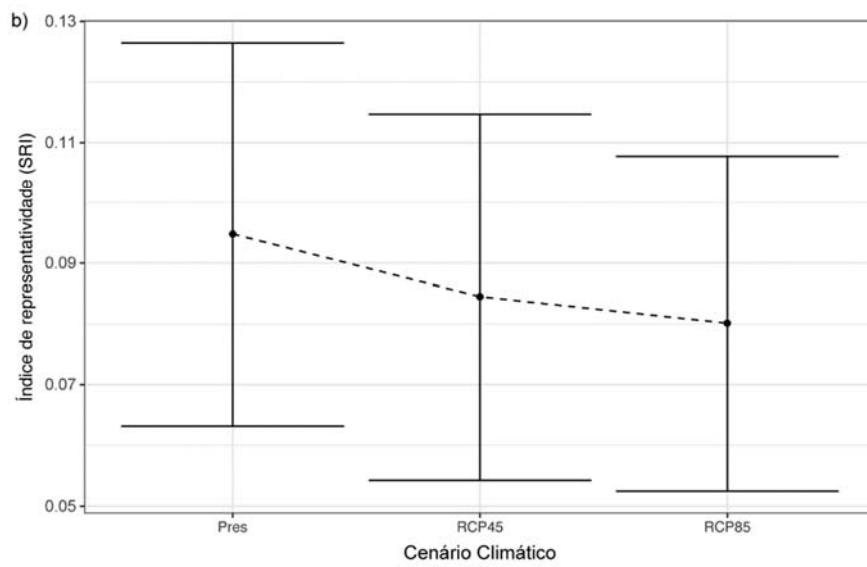
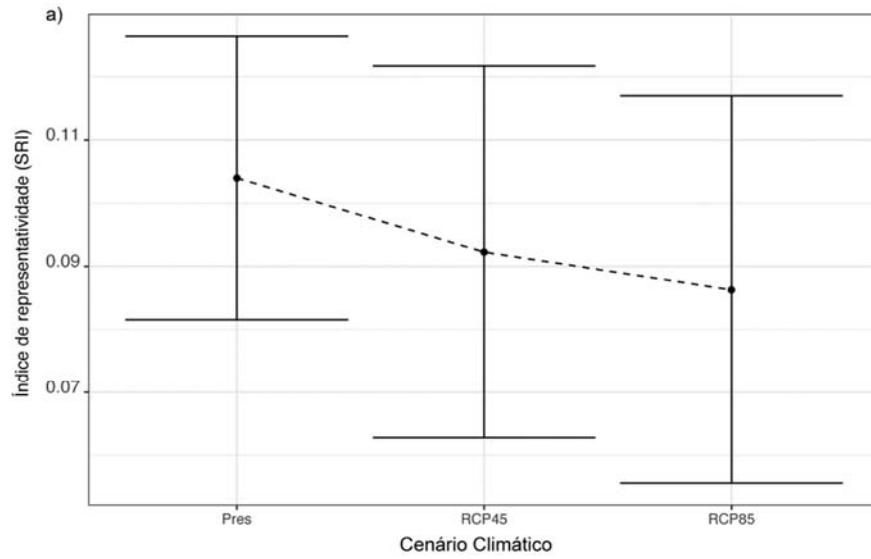


A análise de representatividade da adequabilidade climática de UCs para o presente e dois cenários do futuro (RCP 45 e RCP 85) indicam para as espécies ameaçadas temos uma média superior a 10% de áreas adequadas que estão dentro de UCs para o presente no bioma Cerrado. Essa média cai para um valor próximo a 9% nos demais cenários futuros (RCP 45 e RCP 85). O gráfico mostra uma tendência de perda de distribuições dentro das UCs (Figura 10a).

Para as espécies DDs, a média é superior a 9% de áreas adequadas que estão dentro de UCs para o presente no bioma Cerrado (Figura 10b). Essa média também cai para um valor próximo a 8% nos demais cenários futuros (RCP 45 e RCP 85). A tendência de contração das distribuições está presente para ambos os grupos de espécies alvo.



**Figura 10** - Índice de representatividade das espécies (SRI) para as espécies ameaçadas (a) e DD (b) do Cerrado.



## 5 DISCUSSÃO

Após verificação em campo das áreas selecionadas, com base nos modelos de nicho ecológico gerados para obter a distribuição potencial das espécies alvo no bioma Cerrado, não foram registrados indivíduos das espécies alvo. Tal fato não confirma a ausência delas na região. Alguns fatores devem ser levados em consideração durante essa análise: (1) o esforço amostral empregado influencia nos resultados (Esberard *et al.*, 2008) e certamente a melhor maneira de contornar as lacunas Wallaceanas será investir em aumentar o esforço em inventários no campo (Bini *et al.*, 2006). Desse modo, para ampliar a possibilidade de encontro das espécies, é necessário empregar um esforço amostral com maior número de campanhas e maior quantidade de dias por campanha; (2) as características específicas de cada espécie dificultam os registros. As espécies alvo dos gêneros *Apostolepis*, *Atractus* e *Phalotris*, possuem o tamanho corporal pequeno (< 30cm) e hábito semifossorial (Eutiauspe-Neto *et al.*, 2020; Silva Jr. *et al.*, 2005; Atkinson *et al.*, 2017). As espécies alvo do gênero *Philodryas* e *Siphlophis* possuem tamanho corporal médio (~ 60cm) e hábitos semi-arborícola ou arborícola (Harrington *et al.*, 2018; Hamdan & Lira-da-Silva, 2012). A espécie alvo do gênero *Hydrodynastes* possui tamanho corporal grande (~ 180cm) e hábito semi-aquático (Franco *et al.*, 2007); (3) durante a execução das coletas em campo, não utilizamos armadilhas de interceptação-e-queda (*Pitfall traps*) (Cechin & Martins, 2000), devido ao curto período de tempo em cada localidade e impossibilidade de deslocamentos entre grandes áreas. Ressaltamos que essa metodologia pode maximizar as chances de coletar as espécies alvo do gênero *Apostolepis*, *Atractus* e *Phalotris* que possuem hábito semifossorial.

Observamos que as espécies de serpentes ameaçadas e DDs do bioma Cerrado estarão mais susceptíveis ao declínio no futuro, devido às mudanças no clima. Em um

cenário climático severo em 2070, as espécies apresentaram contração na distribuição e necessidade de deslocamento para potenciais áreas adequadas para sua sobrevivência.

A alteração da mudança climática para um cenário pessimista, aumentaria o risco de extinção das serpentes ameaçadas e possivelmente as DDs do Cerrado, especialmente para as espécies com baixa capacidade de dispersão, devido ao tamanho corporal pequeno e hábito de vida semifossorial como as espécies alvo dos gêneros *Apostolepis*, *Atractus* e *Phalotris* (Eutiauspe-Neto *et al.*, 2020; Silva Jr. *et al.*, 2005; Atkinson *et al.*, 2017), além da reduzida tolerância climática (Reading *et al.*, 2010).

Ainda de acordo com os modelos de nicho gerados nesta pesquisa, as áreas com clima adequado no futuro, não estarão em sua grande maioria dentro do domínio limítrofe de UCs. Devemos lembrar ainda, que há enorme disparidade na distribuição das UCs nas regiões do país. Cerca de 82% da extensão total das áreas protegidas localiza-se na região norte do país, sendo uma porção significativa em locais remotos ou sem aptidão agrícola. Há assim, uma concentração das unidades de conservação e terras indígenas na Amazônia e, descontando as áreas protegidas desse bioma, o restante do Brasil conta com menos de 5% de território protegido. Nesses 5% estão as áreas protegidas de todos os lugares do país, incluindo de biomas que são considerados *hotspots* como o Cerrado (SisARP, 2020).

Outro grande desafio para conservação das espécies está no fato de que as UCs são fixas, enquanto a distribuição das espécies é dinâmica ao longo do tempo e do espaço, em resposta às mudanças climáticas. No cenário mais crítico (RCP 85) teríamos um valor médio de 8% das áreas adequadas preservadas em UCs para a sobrevivência dessas espécies. Este valor é muito abaixo dos 17% estabelecido pela Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB, Meta 11 de Aichi).

O deslocamento no espaço geográfico, necessário para se manterem em condições climáticas toleráveis, será mais desafiador para as espécies ameaçadas situadas nas regiões do sul e oeste do Cerrado e norte para as espécies DDs, pois é esperado que essas regiões se tornem mais áridas e quentes no futuro (Bickford *et al.*, 2010).

Assim, ponderamos que, mesmo diante das incertezas deste grupo de serpentes e dos poucos registros de ocorrências disponíveis de DDs, é possível avaliar seu risco de extinção diante das mudanças no clima, utilizando técnicas de baixo custo que nos fornecem respostas rápidas, como os modelos de nicho ecológico, para que possam ser tomadas medidas para a conservação destas espécies.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alagador, D., Martins, M. J., Cerdeira, J. O., Cabeza, M. & Araújo, M. B. A probability-based approach to match species with reserves when data are at different resolutions. *Biol. Conserv.* (2011). doi:10.1016/j.biocon.2010.11.011
- Araújo, M.B.; New, M. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution*, 2007. 22: 42-4.
- Atkinson, K.; Paul Smith, J. K. Lee-Zuck, D.C. 2017. Redescoberta da cobra 'perdida' *Phalotris multipunctatus* (Serpentes: Dipsadidae) no Paraguai com notas comportamentais e referência à importância do Rancho Laguna Blanca para sua conservação. *Current Herpetology* Feb 2018, Vol. 37, No. 1: 75-80.
- Aubret, F., Shine, R. Thermal plasticity in young snakes: how will climate change affect the thermoregulatory tactics of ectotherms? *J Exp Biol.* 2010; 213: 242–248. <https://doi.org/10.1242/jeb.035931> PMID: 20038657
- Barreto, L. Cerrado Norte do Brasil = North Cerrado of Brazil. Pelotas: Ed. USEB, 2007. 378 p.: il.
- Beck, J., Ballesteros-Mejia, L., Nagel, P. and Kitching, I.J. (2013), Online solutions and the ‘Wallacean shortfall’: what does GBIF contribute to our knowledge of species' ranges?. *Diversity Distrib.*, 19: 1043-1050. <https://doi.org/10.1111/ddi.12083>
- Bernarde, P. S. Anfíbios e répteis: introdução ao estudo da herpetofauna brasileira. Curitiba: Anolisbook, 2012. 320 p.: il. ISBN 978-85-65622-00-4
- Bini, L. M., Diniz-Filho, J. A. F., Rangel, T. F. L. V. B., Bastos, R. P. & Pinto, M. P. Challenging Wallacean and Linnean shortfalls: Knowledge gradients and conservation planning in a biodiversity hotspot. *Divers. Distrib.* 12, 475–482 (2006).
- Breiner, F. T., Guisan, A., Bergamini, A. & Nobis, M. P. Overcoming limitations of modelling rare species by using ensembles of small models. *Methods Ecol. Evol.* 6, 1210–1218 (2015).
- Bickford, D., Howard, S.D., Daniel, J.J., Sheridan, J.A. Impacts of climate change on the amphibians and reptiles of Southeast Asia. *Biodivers Conserv* (2010) 19:1043–1062. DOI 10.1007/s10531-010-9782-4
- Brito, J. C.; Fahd, S.; Geniez, P.; Martínez-Freiría, F.; Pleguezuelos, J. M.; Trape, J. F. Biogeography and conservation of viperids from North-West Africa: An application of ecological niche-based models and GIS. *Journal of Arid Environments*, 75 (2011), pp. 1029-1037, 10.1016/j.jaridenv.2011.06.006
- Brown, G.P., Shine, R. Rain, prey and predators: Climatically driven shifts in frog abundance modify reproductive allometry in a tropical snake. *Oecologia.* 2007; 154: 361–368. <https://doi.org/10.1007/s00442-007-0842-8> PMID: 17724615

- Cechin, S. Z., Martins, M. Eficiência de armadilhas de queda (pitfall traps) em amostragens de anfíbios e répteis no Brasil *Revta bras. Zool.*, v. 17, n. 3, p. 729 -740, 2000.
- Chen I. Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. *Science* (80-). 2011; 333: 1024–1026. <https://doi.org/10.1126/science.1206432> PMID: 21852500
- Diniz-Filho, J., Bini, L., Rangel, T., Loyola, R., Hof, C., Nogués-Bravo, D., Araújo, M. Partitioning and mapping uncertainties in ensembles of forecasts of species turnover under climate change. *Ecography*, 2009. 32, 897–906.
- Esberard, C.E., Bergallo, H.G. Influência do esforço amostral na riqueza de espécies de morcegos no sudeste do Brasil. *Rev. Bras. Zool.*, Curitiba, v. 25, n. 1, pág. 67-73, março de 2008. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-81752008000100010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81752008000100010&lng=en&nrm=iso)>. acesso em 18 de novembro de 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-81752008000100010>.
- Entiauspe-Neto, O.M., Guedes, T.B., Loebmann, D., Lema, T. "Status Taxonômico de Dois Simultaneamente Descritos *Apostolepis* Cope, 1862 Espécies (Dipsadidae: Elapomorphini) de Florestas Úmidas de Enclaves da Caatinga, Brasil, "Journal of Herpetology, 54 ( 2), 225-234, (15 de maio de 2020)
- Franco, F.L., Fernandes, D.S., Bentim, B.M. 2007. A new species of *Hydrodynastes Fitzinger*, 1843 from central Brazil (Serpentes: Colubridae: Xenodontinae). *Zootaxa* 1613:57–65. <http://doi.org/10.11646/zootaxa.1613.1.4>
- França, D., Barbo, F.E., Silva-Júnior, N.J., Helder L.R.S. e Zaher, H. 2018. Uma nova espécie de *Apostolepis* (Serpentes, Dipsadidae, Elapomorphini) do Cerrado do Brasil Central. *Zootaxa*. 4521 (4); 438–552. DOI: 10.11646 / zootaxa.4521.4.3
- Gaston, K.J., Blackburn, T.M. Are newly described bird species small-bodied? *Biodivers Lett.* 1994; 2: 16–20.
- Gibbons, J.W., Scott, D.E., Ryan, T., Buhlmann, J.K.A., Tuberville, T.D., Metts, B.S., *et al.* The Global Decline of Reptiles, Déjà Vu Amphibians: Reptile species are declining on a global scale. Six significant threats to reptile populations are habitat loss and degradation, introduced invasive species, environmental pollution, disease, unsustainable use, and global climate change, *BioScience*, Volume 50, Issue 8, August 2000, Pages 653–666, [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0653:TGDORD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0653:TGDORD]2.0.CO;2)
- Harrington, S.M., Jordyn, M.H., Lindsey, S., Ruane, S. 2018. Hábitos e características das cobras arbóreas em todo o mundo: a arborização restringe o tamanho do corpo, mas não afeta a diversificação da linhagem. *Biological Journal of the Linnean Society* 125 (1): 61-71
- Hamdan, B. & RM Lira-da-Silva 2012. As serpentes do estado da Bahia, nordeste do Brasil: riqueza de espécies, composição e notas biogeográficas. *Salamandra* 48 (1): 31-50
- Hortal, J., de Bello, F., Diniz-Filho, J.A.F., Lewinsohn, T.M., Lobo, J.M., Ladle, R.J. Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst.* 2015; 46: 523–549. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400>
- ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Acessado em 24 de outubro de 2020. [www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/estado-de-conservacao/2790-repteis-serpentes](http://www.icmbio.gov.br/portal/faunabrasileira/estado-de-conservacao/2790-repteis-serpentes)
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

- Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Lawing, A.M., Polly, P.D. Pleistocene climate, phylogeny, and climate envelope models: An integrative approach to better understand species' response to climate change. *PLoS One*. 2011; 6: e28554. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028554> PMID: 22164305
- Leão, S. M. História natural, modelagem de distribuição e conservação de *Bothrops itapetiningae* Boulenger, 1907 (Serpentes: Viperidae: Crotalinae), espécie endêmica do Cerrado. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2012. p. 122.
- Lomolino, M. V. *Frontiers of Biogeography*. In: Lomolino M, Heaney L, editors. *Frontiers of Biogeography: New Directions in the Geography of Nature*. Sunderland, MA: Sinauer; 2004.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/>. Acessado em 23 de julho de 2020.
- Nogueira, C.C., Argôlo, A.J.S., Arzamendia, V., Azevedo, J.A., Barbo, F.E., *et al.* "Atlas of Brazilian Snakes: Verified Point-Locality Maps to Mitigate the Wallacean Shortfall in a Megadiverse Snake Fauna," *South American Journal of Herpetology*, 14(sp1), 1-274, (31 December 2019)
- Nogueira C.; Colli G. R.; Costa G. C.; Machado R. B. Diversidade de répteis Squamata e evolução do conhecimento faunístico no Cerrado pp. 333–375. In: DINIZ I. R.; MARINHO-FILHO J.; MACHADO R. B.; & CAVALCANTI R. B. (eds), *Cerrado: conhecimento científico quantitativo como subsidio para ações de conservação*, Editora UnB, Brasília, 2010. 496 pp. ISBN: 9788570629647.
- Quintana, A.C.; Hacon, V. O desenvolvimento do capitalismo e a crise ambiental. *O Social em Questão - Ano XIV - nº 25/26*, p. 427 - 444 – 2011.
- R Core Team (2015). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reading, C.J., Luiselli, L.M., Akani, G.C., Bonnet, X., Amori, G., Ballouard, J.M., *et al.* Are snake populations in widespread decline? *Biol Lett*. 2010;6: 777–80. pmid:20534600
- SBH. Brazilian Reptiles List of species. Acessado em 23 de outubro de 2020. <http://www.sbherpetologia.org.br>.
- Silva, J.R., Nelson Jorge D.A. *et al.* Uma nova espécie do gênero *Atractus wagler*, 1928 (Colubridae: Dipsadinae) do Cerrado do Brasil Central. *Pap. Avulsos Zool.* (São Paulo), São Paulo, v. 45, n. 3, p. 33-39, 2005. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0031-10492005000300001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0031-10492005000300001&lng=en&nrm=iso)>. access on 18 Nov. 2020. <https://doi.org/10.1590/S0031-10492005000300001>.
- SisArp - Instituto Socioambiental - Sistema de Áreas Protegidas. Acessado em 23 de outubro de 2020. <https://uc.socioambiental.org/pt-br/paineldedados>
- Sunny, A.; González-Fernández, A.; D'addario, M. Potential distribution of the endemic imbricate alligator lizard (*Barisia imbricata imbricata*) in highlands of central Mexico. *Amphibia-Reptilia* 38(2), 2017:225\_231 DOI 10.1163/15685381-00003092.
- Terribile, L.C., Feitosa, D.T., Pires, M.G., de Almeida, P.C.R., de Oliveira, G., *et al.* (2018) Reducing Wallacean shortfalls for the coralsnakes of the *Micrurus lemniscatus* species complex: Present and future distributions under a changing climate. *PLOS ONE* 13(11): e0205164. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205164>
- Uetz, P.; Hošek, J. 2020. The Reptile Database. Acessado em 17 de outubro de 2020. [www.reptile-database.org](http://www.reptile-database.org).

## 7 MATERIAL SUPLEMENTAR

**Tabela S1** - Lista com os registros conhecidos de distribuição das espécies alvo, extraídas do banco de dados do “Atlas of Brazilian Snakes: Verified Point-Locality Maps to Mitigate the Wallacean Shortfall in a Megadiverse Snake Fauna” de Nogueira et al. (2019).

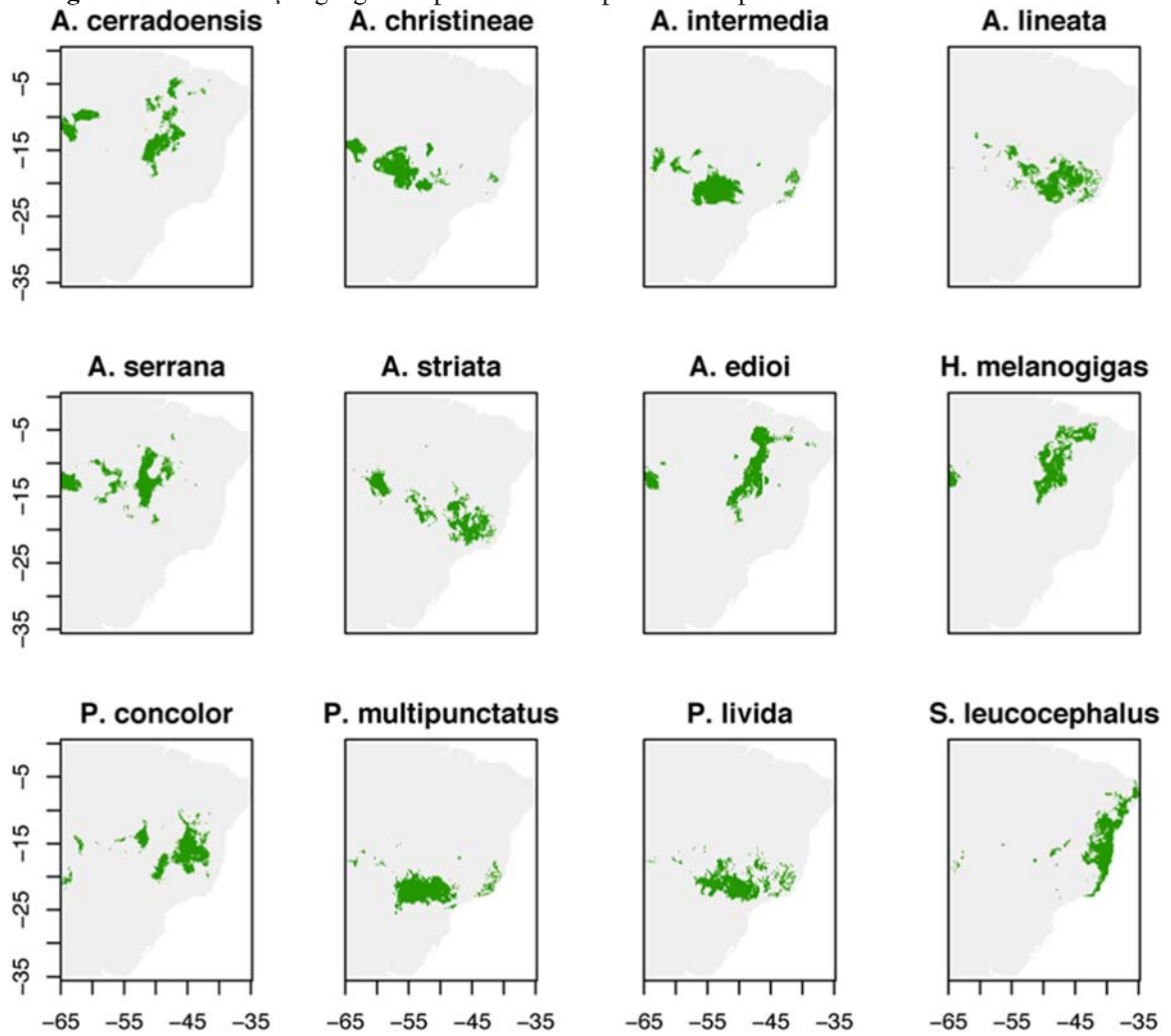
Espécies	Longitude	Latitude
Apostolepis_cerradoensis	-48349107	-13809817
Apostolepis_christineae	-57214	-15654
Apostolepis_intermedia	-56295	-238133
Apostolepis_intermedia	-552946	-205211
Apostolepis_intermedia	-563667	-202333
Apostolepis_intermedia	-528714	-182512
Apostolepis_lineata	-557321	-154702
Apostolepis_serrana	-5176666667	-12.85
Apostolepis_striata	-600881	-126137
Atractus_edioi	-4824166667	-1353333333
Hydrodynastes_melanogigas	-48417	-10708
Hydrodynastes_melanogigas	-483603	-102128
Hydrodynastes_melanogigas	-48.35	-9.75
Hydrodynastes_melanogigas	-474718	-73418
Phalotris_concolor	-460094	-170097
Phalotris_concolor	-46173	-168748
Phalotris_concolor	-42.85	-16.8
Phalotris_concolor	-42862	-16.8
Phalotris_concolor	-457422	-161325
Phalotris_concolor	-457085	-161095
Phalotris_multipunctatus	-562909	-237808

Phalotris_multipunctatus	-480635	-222451
Phalotris_multipunctatus	-545436	-218023
Philodryas_livida	-486833	-229833
Philodryas_livida	-488472	-229472
Philodryas_livida	-492333	-227833
Philodryas_livida	-488833	-227667
Philodryas_livida	-485667	-227167
Philodryas_livida	-48.8	-225833
Philodryas_livida	-47402	-22565
Philodryas_livida	-489875	-224692
Philodryas_livida	-479167	-222667
Philodryas_livida	-478167	-22.25
Philodryas_livida	-478686	-220825
Philodryas_livida	-558111	-204667
Philodryas_livida	-546333	-204333
Philodryas_livida	-567675	-200767
Philodryas_livida	-52885	-182514
Espécies	Longitude	Latitude
Philodryas_livida	-52.87	-181917
Philodryas_livida	-529225	-181019
Philodryas_livida	-529408	-180564
Philodryas_livida	-529733	-18.01
Philodryas_livida	-532172	-176644
Siphlophis_leucocephalus	-43651	-18439
Siphlophis_leucocephalus	-39.31	-17.07
Siphlophis_leucocephalus	-43503	-17033
Siphlophis_leucocephalus	-391942	-163925
Siphlophis_leucocephalus	-39303	-15563
Siphlophis_leucocephalus	-39.3	-15.56
Siphlophis_leucocephalus	-394011	-15.49
Siphlophis_leucocephalus	-39.33	-15.43
Siphlophis_leucocephalus	-39334	-15429
Siphlophis_leucocephalus	-407803	-153528

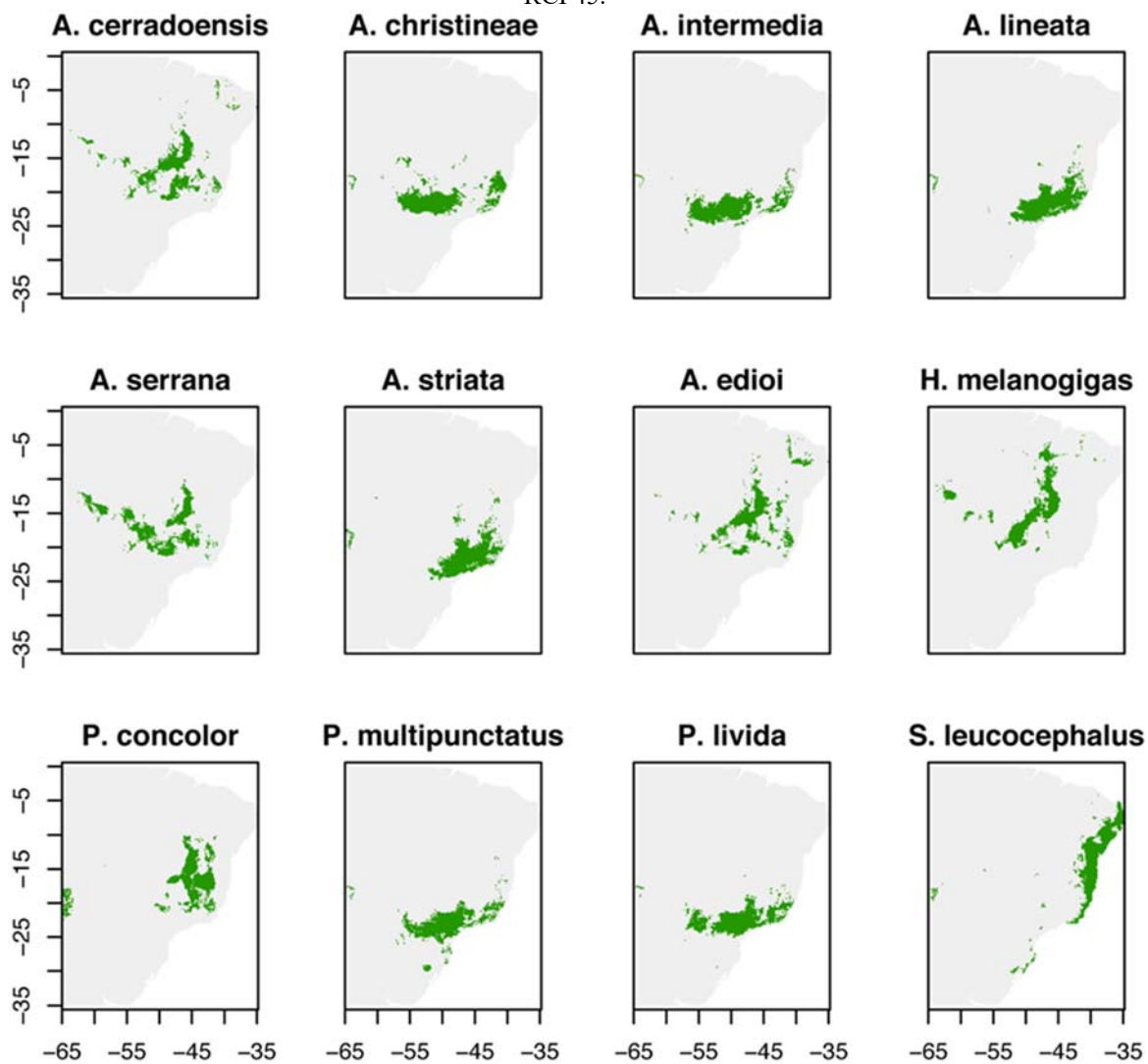


Siphlophis_leucocephalus	-391708	-147978
Siphlophis_leucocephalus	-391986	-147972
Siphlophis_leucocephalus	-392114	-147944
Siphlophis_leucocephalus	-392119	-147942
Siphlophis_leucocephalus	-39049	-14789
Siphlophis_leucocephalus	-390494	-147889
Siphlophis_leucocephalus	-394406	-147744
Siphlophis_leucocephalus	-392281	-147675
Siphlophis_leucocephalus	-39251	-14748
Siphlophis_leucocephalus	-392039	-147322
Siphlophis_leucocephalus	-391828	-147086
Siphlophis_leucocephalus	-401308	-144153
Siphlophis_leucocephalus	-401961	-143858
Siphlophis_leucocephalus	-38998	-14276
Siphlophis_leucocephalus	-40005	-138561
Siphlophis_leucocephalus	-469333	-13.85
Siphlophis_leucocephalus	-39441	-13311
Siphlophis_leucocephalus	-41.4	-13.15
Siphlophis_leucocephalus	-414325	-131369

**Figura S1** - Distribuição geográfica potencial das espécies de serpentes considerando o clima atual.



**Figura S2** - Distribuição geográfica potencial das espécies de serpentes considerando o cenário climático RCP45.



**Figura S3** - Distribuição geográfica potencial das espécies de serpentes considerando o cenário climático RCP85.

