

Universidade Federal de Juiz de Fora  
Instituto de Ciências Biológicas  
Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas  
(Comportamento e Biologia Animal)

**Modelagem de nicho climático de *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae) associado a animais de produção e animais silvestres no Brasil: potenciais riscos a conservação e saúde pública**

**ALEXSSANDRA FELIPE DA SILVA**

Juiz de Fora

2019

ALEXSSANDRA FELIPE DA SILVA

**Modelagem de nicho climático de *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae) associado a animais de produção e animais silvestres no Brasil: potenciais riscos a conservação e saúde pública**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas/ Comportamento e Biologia Animal, da Universidade Federal de Juiz de Fora como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Zoologia.

Orientadora: Prof. Dra. Sthefane D'ávila

Juiz de Fora

2019

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Silva, Alexssandra Felipe da .

Modelagem de nicho climático de *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae) associado a animais de produção e animais silvestres no Brasil: potenciais riscos a conservação e saúde pública / Alexssandra Felipe da Silva. -- 2019.

116 f.

Orientadora: Sthefane D'ávila

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas: Comportamento Animal, 2019.

1. Modelagem de Nicho Climático. 2. Toxoplasmose. 3. Toxoplasmose e saúde pública. 4. Toxoplasmose e conservação. I. D'ávila, Sthefane , orient. II. Título.

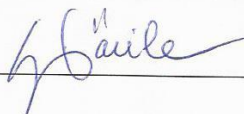
Alexssandra Felipe da Silva

**Modelagem de nicho climático de *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908)  
(Apicomplexa, Sarcocystidae) associado a animais de produção e animais silvestres no  
Brasil: potenciais riscos a conservação e saúde pública**

Dissertação de Mestrado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas/ Comportamento e Biologia Animal, da Universidade Federal de Juiz de Fora como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestra em Zoologia.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2019.

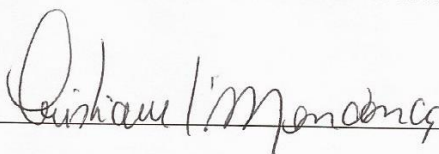
BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup> Dra. Sthefane D'ávila (Orientadora)  
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dra. Mariana Fonseca Rossi  
Universidade Federal de Juiz de Fora



Prof. Dra. Cristiane Lafeté Furtado de Mendonça  
Fundação Oswaldo Cruz

## **Agradecimentos**

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, pois sem ele nada disso seria possível. Em seguida aos meus pais, Rosa e Sérgio, que sempre me incentivaram e me ajudaram na caminhada ao longo da faculdade e da pós-graduação, pois sem eles, o sonho de fazer uma pós-graduação jamais seria possível. Obrigada por me aturarem nos momentos difíceis que eu ficava chorando em casa, por me aconselharem a não desistir e seguir em frente, por me ajudarem com todas as despesas, pelo carinho, pela atenção e pelos bons conselhos que levarei para toda a vida.

Segundo, e não menos importante, à minha orientadora professora Sthefane, que me acolheu com muito carinho em seu laboratório, pela paciência que teve ao longo destes dois anos que venho trilhando dentro do Museu de Malacologia Professor Maury Pinto de Oliveira, pela atenção e pelo companheirismo. Obrigada por aceitar a minha loucura de fazer algo totalmente novo, sem experiência alguma, e por mesmo assim acreditar e confiar no meu potencial e na minha capacidade. Acima de tudo, pelos ensinamentos ao longo deste percurso, pelo carinho e por tudo que me ensinou, dentro e fora de uma sala de aula.

Depois, aos meus colegas do Museu de Malacologia, em especial à Camilla Oliveira, Flávio Macanha, Tayrine Carvalho e Sue-Helen Mondaíni, que me ajudaram no levantamento de dados, tiveram paciência com minhas crises existenciais e histórias malucas e que, acima de tudo, me ajudaram a ver as coisas com maturidade e esperança. Obrigada pelo carinho, pela atenção, companheirismo e amizade de sempre. São pessoas que levarei por toda minha vida com um grande carinho.

Aos meus amigos dentro e fora da universidade pela atenção e paciência, por todas as vezes que faltei a um encontro para estudar e fazer pesquisas, e por todas as vezes que falava sem parar das coisas que tinha aprendido. Em especial à Kássia Malta e Cirlene Pereira, por

terem me ajudado quando mais precisei, por sempre me aturarem e estarem comigo em todos os momentos, mesmo que distante fisicamente, nunca me abandonaram. Obrigada pela amizade e pelo carinho de sempre. E à minha amiga Tatiane Ladeira, que me acompanha em minhas crises e mudanças de fase desde a época da faculdade, esteve sempre ao meu lado, me dando os melhores conselhos, fazendo os melhores lanches e me ajudando a descobrir os mistérios que envolviam minha vida. Obrigada por ser a melhor detetive, amiga e companheira dos lanches do mundo.

Enfim, à Universidade Federal de Juiz de Fora e ao Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas (Comportamento e Biologia Animal) pela oportunidade de desenvolver meu projeto de mestrado e pelo incentivo na divulgação e no fazer ciência. Obrigada à Capes pela concessão da bolsa de mestrado, que foi fundamental para o desenvolvimento de um bom projeto.

Aprender generosamente significa não aprender com egoísmo, buscando a aquisição do conhecimento para vaidade pessoal ou para vangloriar-se em um amanhã de triunfos exteriores, esquecendo que muito do aprendido foi ensinado para evitar sofrimento e permitir a passagem pelos trechos difíceis no longo caminho pela vida.

**Raumsol**

## Resumo

A toxoplasmose é uma parasitose causada pelo parasito *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae), um protozoário heteroxeno que tem como hospedeiros todos os animais de sangue quente, incluindo o ser humano, sendo os felinos seus hospedeiros definitivos. Infecções por *T. gondii* causam prejuízos de bilhões ao ano em sistemas de criação de animais de produção, visto que esta parasitose afeta a reprodução destes animais, além de ser um grande problema de saúde pública e conservação de espécies silvestres. Por ter uma ampla distribuição mundial, ocupa diferentes habitats, e pouco se sabe sobre os fatores ambientais que afetam a distribuição desse parasito, sendo assim, o objetivo do presente trabalho foi modelar o nicho fundamental de *T. gondii* associado aos animais silvestres e animais de produção no território brasileiro, e a partir desse nicho, realizar projeções futuras em diferentes cenários de mudanças climáticas, afim de verificar possíveis áreas de adequabilidade sofrendo retração ou expansão. Para isso, foi realizada a modelagem de nicho climático utilizando-se o algoritmo Maxent. A validação e calibração dos modelos foram realizadas dentro do próprio algoritmo ( $AUC > 0.70$ ). As variáveis bioclimáticas foram retiradas da base mundial *Worldclim*, tratadas no software Qgis, transformadas em camadas raster, selecionadas após o teste de correlação e inseridas no modelo. Todos os modelos foram validados com valores acima de 0.70. Em relação ao nicho fundamental, *Toxoplasma gondii* ocupa todo o território brasileiro, com áreas mais intensas, como é o caso das regiões Norte e Nordeste. Na região Sul, o nicho é mais restrito a associação com os suínos, enquanto nas regiões Norte e Nordeste estão associados a todas os demais animais de produção e animais silvestres. Resultados de projeções futuras apontam a região Norte do país como sendo a área de maior adequabilidade para a ocorrência da toxoplasmose, tornando-se uma área que requer maior atenção, principalmente quando se trata de animais silvestres, visto que o domínio fitogeográfico da Floresta Amazônica, que se estende por toda região Norte, é rico e biodiverso,



podendo esta parasitose afetar diretamente a conservação das espécies nativas da região. Além disso, o Norte do país também é uma área muito forte na criação de bovinos, os animais de produção mais consumidos pelos brasileiros, sendo relevantes medidas de controle e tratamento dos animais infectados, pois estes funcionam como reservatório da doença para os seres humanos. Conclui-se que as áreas de maior adequabilidade para a toxoplasmose com relação ao nicho fundamental e o nicho projetado, merecem maior atenção e incentivo para controle, bem como o tratamento e manejo adequado dos animais desta região. Visando a conservação das espécies silvestres, diminuição de perdas econômicas associadas a danos na reprodução dos animais de produção e profilaxia da doença nos seres humanos.

**Palavras-chave:** bovinos, caprinos, Maxent, nicho fundamental, toxoplasmose.

## Abstract

Toxoplasmosis is a disease caused by the parasite *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae), a protozoan heteroxene that hosts all warm-blooded animals, including humans, but the felines are their definitive hosts. *T. gondii* infections cause losses of billions per year in breeding systems, since this parasite affects the reproduction of these animals, as well as being a major public health problem and conservation of wild species. Due to its wide distribution worldwide, it occupies different habitats, and little is known about the environmental factors that affect the distribution of this parasite. Thus, the objective of this work was to model the fundamental niche of *T. gondii* associated with wild animals and from this niche to carry out future niche projections in different scenarios of climate change, in order to verify possible areas of suitability suffering retraction or expansion. For this, a climatic niche modeling was performed using the Maxent algorithm. The validation and calibration of the models were performed within the algorithm itself (AUC > 0.70). The bioclimatic variables were taken from the Worldclim world database, treated in the Qgis software, transformed into raster layers, selected after the correlation test and inserted into the model. All models were validated with values above 0.70. In relation to the fundamental niche, *Toxoplasma gondii* occupies the all Brazilian territory, with more intense areas, as is the case in the North and Northeast regions. In the South region, the niche is more restricted to the association with the swine, whereas in the North and Northeast regions are associated to all the other production animals and wild animals. Results from future projections point to the Eastern region of the country as the area of greatest suitability for the occurrence of toxoplasmosis, becoming an area that requires more attention, especially when dealing with wild animals, since the Amazon biome, throughout the North, is rich and biodiverse, and this parasite can directly affect the conservation of native species of the region. Results from future projections point to the Eastern region of the country as the area of greatest suitability for the occurrence of

toxoplasmosis, becoming an area that requires more attention, especially when dealing with wild animals, since the Amazon biome, throughout the North, is rich and biodiverse, and this parasite can directly affect the conservation of native species of the region. We conclude that the areas of greater suitability for toxoplasmosis in relation to the fundamental niche and the projected niche deserve greater attention and greater incentive to control, treat and appropriately manage the animals of this region, aiming at the conservation of wild species, reduction of economic losses associated with damage to reproduction of productive animals and prophylaxis of the disease in humans.

**Keywords:** cattle, goats, Maxent, fundamental niche, toxoplasmosis.

## Lista de Ilustrações

- Figura 1.** Trabalhos analisados após a inserção dos critérios de exclusão e inclusão de cada manuscrito nas análises. Adaptado de MOHER *et al.*, 2009. ----- 18
- Figura 2.** Distribuição dos pontos de ocorrência de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no território brasileiro. ----- 22
- Figura 3.** Área de adequabilidade para *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no Brasil. Manchas em vermelho são locais que possuem o maior número de características adequadas, em contrapartida, áreas em verde apresentam as características menos favoráveis para ocorrência desta associação parasitária. ----- 24
- Figura 4.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ). ----- 24
- Figura 5.** Área de adequabilidade para a toxoplasmose associada aos animais silvestres no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. ----- 26
- Figura 6.** Área de adequabilidade para a toxoplasmose associada aos animais silvestres no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. ----- 27
- Figura 7.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70, validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent. ----- 28

<b>Figura 8.</b> Desempenho de cada uma das variáveis sobre a geração do modelo. A. Nicho fundamental. B. Nicho projetado cenário otimista (Worldclim 26_50). C. Nicho projetado cenário pessimista (Worldclim 85_70). -----	<b>30</b>
<b>Figura 9.</b> Distribuição dos registros de toxoplasmose associada aos animais de produção no território brasileiro. -----	<b>56</b>
<b>Figura 10.</b> Distribuição potencial de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a bovinos no território brasileiro. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent. -----	<b>58</b>
<b>Figura 11.</b> Desempenho do modelo de nicho climático de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a bovinos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ). -----	<b>58</b>
<b>Figura 12.</b> Distribuição potencial de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a bovinos, no Brasil, em dois cenários de mudanças climáticas. A. Projeção de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25_50). B. Projeção de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. -----	<b>60</b>
<b>Figura 13.</b> Curvas de validação do modelo de nicho climático de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a bovinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent. -----	<b>61</b>
<b>Figura 14.</b> Distribuição potencial de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a caprinos no território brasileiro. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent. -----	<b>62</b>
<b>Figura 15.</b> Desempenho do modelo de nicho climático de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a caprinos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ). -----	<b>63</b>

**Figura 16.** Distribuição potencial de *T. gondii* associada a caprinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. ----- **64**

**Figura 17.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a caprinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent. ----- **65**

**Figura 18.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a equinos no território brasileiro. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent. ----- **66**

**Figura 19.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a equinos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ). ----- **67**

**Figura 20.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a equinos no Brasil, em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. ----- **68**

**Figura 21.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a equinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent. ----- **69**

<b>Figura 22.</b> Distribuição potencial de <i>Toxoplasma gondii</i> associado à aves de corte no Brasil. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent. -----	<b>70</b>
<b>Figura 23.</b> Desempenho do modelo de nicho climático de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a aves de corte seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ). -----	<b>71</b>
<b>Figura 24.</b> Distribuição potencial de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a aves de corte no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. -----	<b>72</b>
<b>Figura 25.</b> Curvas de validação do modelo de nicho climático de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a aves de corte no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent. -----	<b>73</b>
<b>Figura 26.</b> Áreas de adequabilidade para <i>Toxoplasma gondii</i> associado a ovinos no território brasileiro (nicho fundamental). Modelo obtido pelo algoritmo Maxent. -----	<b>74</b>
<b>Figura 27.</b> Desempenho do modelo de nicho climático de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a ovinos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ). -----	<b>75</b>
<b>Figura 28.</b> Distribuição potencial de <i>Toxoplasma gondii</i> associado a ovinos, no Brasil, em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. -----	<b>76</b>

**Figura 29.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a ovinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent. ----- 77

**Figura 30.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a suínos no Brasil. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent. ----- 78

**Figura 31.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a suínos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ). ----- 79

**Figura 32.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associada a suínos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent. ----- 80

**Figura 33.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a suínos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent. ----- 81



## Lista de Tabelas

- Tabela 1.** Porcentagem de contribuição de cada variável bioclimática utilizada sobre o modelo de distribuição de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no Brasil. ----- **29**
- Tabela 2.** Número de trabalhos analisados para cada tipo de animal de produção usado como hospedeiro intermediário da toxoplasmose no território brasileiro. ----- **55**
- Tabela 3.** Porcentagem de contribuição de cada variável sobre os modelos para os nichos fundamentais dos diferentes tipos de associações do parasito *Toxoplasma gondii* com seus hospedeiros animais de produção. ----- **82**

## Lista de Apêndices

**Apêndice 1.** Teste de Correlação entre as dezenove variáveis bioclimáticas para o shape do Brasil. Valores acima de 0.90 ( $p > 0.90$ ) correlação forte. ----- **99**

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução Geral</b> .....	<b>01</b>
<b>2. Referências Bibliográficas</b> .....	<b>06</b>
<b>3. Capítulo 1</b>	
<b>3.1. Introdução</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2. Material e Métodos</b> .....	<b>17</b>
<b>3.3. Resultados</b> .....	<b>22</b>
<b>3.4. Discussão</b> .....	<b>31</b>
<b>3.5. Referências Bibliográficas</b> .....	<b>35</b>
<b>4. Capítulo 2</b>	
<b>4.1. Introdução</b> .....	<b>47</b>
<b>4.2. Material e Métodos</b> .....	<b>51</b>
<b>4.3. Resultados</b> .....	<b>55</b>
<b>4.4. Discussão</b> .....	<b>83</b>
<b>4.5. Referências Bibliográficas</b> .....	<b>88</b>
<b>5. Conclusão</b> .....	<b>97</b>
<b>6. Apêndices</b> .....	<b>98</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A toxoplasmose é uma doença causada pelo parasito *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908), um protozoário apicomplexo, pertencente a família Sarcocystidae, descoberto inicialmente pelo cientista Charles Nicolle, quando trabalhava com um roedor nativo do norte da África (FIGUEIREDO *et al.*, 2001; INESS, 2010). Esse parasito tem a capacidade de infectar com sucesso animais de sangue quente em todo o mundo, incluindo os seres humanos. Os membros da família Felidae são os hospedeiros definitivos, sendo os únicos animais onde o parasito é capaz de realizar a reprodução sexuada, produzindo oocistos contendo esporozoítos, que serão eliminados no ambiente pelas fezes dos felinos (MILLAR *et al.*, 2008; WEBSTER *et al.*, 2013). Os demais animais de sangue quente são os hospedeiros intermediários, onde ocorre parte do ciclo de vida do parasito, sendo caracterizado pela reprodução assexuada, no qual são produzidos taquizoítos e bradizoítos (WEBSTER *et al.*, 2013). A infecção pode ocorrer por diferentes vias, podendo os hospedeiros ser infectados pela ingestão de oocistos presentes no solo, água ou alimento contaminado (DUBEY, 2009a; WEBSTER *et al.*, 2013). Também podem ser infectados por contaminação indireta através de ingestão de carne animal contendo taquizoítos ou bradizoítos (DUBEY, 2009a; CAÑÓN-FRANCO *et al.*, 2013a), por contaminação congênita da fêmea para o filhote (WEBSTER *et al.*, 2013) e em algumas situações específicas, por vias sexuais (VYAS, 2013).

A toxoplasmose apresenta vários sintomas, que se relacionam com as dispares formas de infecção, diferentes tipos de hospedeiro e local de atuação. Bradizoítos encistam no cérebro, coração e outros tecidos, sendo que muitas pesquisas já registraram a preferência do *T. gondii* pelo sistema nervoso central (SNC), tanto em roedores, quanto em seres humanos (KAUSHIK *et al.*, 2012; MCCONKEY *et al.*, 2013; WEBSTER *et al.*, 2013). A infecção nesta região é fortemente correlacionada com aumentos nos níveis de dopamina (WEBSTER *et al.*, 2013),

podendo ser essa uma das causas do controle comportamental que os parasitos exercem sobre os seus hospedeiros.

Por ser uma doença amplamente distribuída, afetando todos os animais de sangue quente, com fortes consequências para saúde animal, tanto nos processos fisiológicos, quanto comportamentais, tornou-se problema de saúde pública, econômica e de conservação (MCCONKEY *et al.*, 2013; WEBSTER *et al.*, 2013). Por fim, esta infecção causa prejuízos de bilhões de dólares ao ano nos sistemas intensivos de criação, cabendo ao governo gastar vultosa quantia monetária com políticas públicas para saúde (DUBEY, 2009a; BRUGGMANN *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016).

Os animais de produção são intimamente afetados por esta parasitose (INESS, 2010). Muitos são assintomáticos, atuando apenas como reservatório da doença (ESTEBAN-REDONDO & INNES, 1997; DAGUER *et al.*, 2004; COSTA *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2016). Os bovinos são intitulados como reservatórios da doença, pois não apresentam sintomas, entretanto, a carência de pesquisas na área pode estar enviesando estas conclusões, visto que em muitas fazendas, abortos e alterações fisiológicas dos bovinos, não são associados com a parasitemia do animal. GUO *et al.* (2015) relataram em vários países do mundo, a ocorrência de toxoplasmose em ovinos e os efeitos sobre a reprodução destes animais, principalmente no que diz respeito a abortos, natimortos, nascimento de prole fraca com desenvolvimento retardado, mumificação fetal e em alguns casos, abortos nos estágios mais tardios da gestação. Juntamente com os caprinos, os ovinos são os animais de produção mais seriamente comprometidos por esta parasitose, tendo várias perdas econômicas devido as falhas na reprodução destes (DUBEY, 1981; DUBEY *et al.*, 1986; FIGUEIREDO *et al.*, 2001; VARASCHIN *et al.*, 2011).

As aves que vivem em sistemas extensivos de produção, são usadas como indicadores de contaminantes ambientais quando estão infectadas com a toxoplasmose (DUBEY *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Esses animais se alimentam diretamente sobre o solo, o que facilita a infecção por oocistos presentes no meio ambiente (CASARTELLI-ALVES *et al.*, 2015). Além disso, são amplamente usadas para extração do parasito para análise de caracterização das linhagens genéticas, uma área que vem crescendo gradativamente nos últimos anos (DUBEY *et al.*, 2002; DUBEY *et al.*, 2003; DUBEY *et al.*, 2006; DUBEY *et al.*, 2007; DUBEY, 2009b; OLIVEIRA *et al.*, 2009).

Os animais silvestres também são muito afetados pela toxoplasmose em diversas localidades no mundo, seja mantidos em cativeiro ou vivendo livremente no ambiente, apresentando grandes impactos sobre sua conservação (SILVA *et al.*, 2008; DUBEY *et al.*, 2009; PIMENTEL *et al.*, 2009; JURÁNCOVÁ *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2014; ONUMA *et al.*, 2014; VANWORMER *et al.*, 2014). Essa parasitose afeta intimamente a reprodução destes animais, e assim, dificulta o estabelecimento de novas populações ou o crescimento de populações preexistentes (BEZERRA *et al.*, 2015; ATTADEMO *et al.*, 2016; GENNARI *et al.*, 2016; GONDIM *et al.*, 2017; JESUS *et al.*, 2017; LUO *et al.*, 2017). Alguns animais silvestres apresentam riscos mais elevados quando são infectados pela toxoplasmose, como é o caso de algumas espécies de mamíferos aquáticos e marsupiais, onde esta infecção pode ser letal. Isto porque durante o processo evolutivo, esses animais e o protozoário *T. gondii* evoluíram separadamente, passando a ter contato posterior, não sendo o organismo destes preparados para agir contra esta infecção (INNES, 2010).

Nos últimos dez anos, observa-se um aumento no número de publicações científicas sobre conservação da biodiversidade no Brasil (VIÉ *et al.*, 2009; CAÑÓN-FRANCO *et al.*, 2013a). A necessidade de conservação de espécies nativas ganhou visibilidade principalmente

como consequência do crescente número de espécies incluídas na lista vermelha de animais ameaçados (VIÉ *et al.*, 2009; CAÑÓN-FRANCO *et al.*, 2013a).

Alguns animais silvestres, como os javalis, também são usados na alimentação humana em países da Europa, onde famílias inteiras vivem da caça (ANTALOVÁ *et al.*, 2007), sendo estes considerados reservatórios da doença (HEJLÍČEK *et al.*, 1997; SHIIBASHI *et al.*, 2004).

Os seres humanos podem se contaminar através de carne de animais de produção infectada com cistos (BRÜGGMANN *et al.*, 2015), comida ou bebida infectadas com oocistos ou ingerindo acidentalmente o próprio oocistos presente no ambiente (DUBEY, 2009a). Em geral, a toxoplasmose é assintomática em pessoas imunocompetentes (BÓIA *et al.*, 2008), tornando-se um problema de saúde pública conhecida mundialmente em pacientes imunocomprometidos e em gestantes (FERREIRA *et al.*, 2013; BRÜGGMANN *et al.*, 2015). Essa parasitose causa inúmeras consequências para o feto quando este é infectado no útero da mãe, como problemas psicomotores, retardo motor e mental, epilepsia, surdez e problemas oculares que podem levar à cegueira (DUBEY & BETTIE, 1988; FERREIRA *et al.*, 2013). Além de ser um fator de risco em pacientes imunocomprometidos, que podem levá-los à morte (FERREIRA *et al.*, 2013), tornando-se, portanto, um problema de saúde pública (DUBEY & BETTIE, 1988; DUBEY, 2009a; FERREIRA *et al.*, 2013; BRÜGGMANN *et al.*, 2015).

Muitos fatores ambientais afetam a epidemiologia das infecções por *T. gondii*, como clima, relevo, altitude, densidade de felinos no local e características de higienização dos alimentos dos animais (BRÜGGMANN *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016). Apesar de algumas pesquisas terem estudado fatores espaciais específicos, que afetam a distribuição da toxoplasmose em animais domésticos (CASARTELLI-ALVES *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016), ainda são escassos os estudos nos quais utilizam ferramentas georreferenciais (CONDOLEO *et al.*, 2016). Sistemas de sensoriamento remoto também possuem grande

utilidade, principalmente em análise de contaminação ambiental por parasitos infecciosos. Os mapas gerados nestes, podem ser utilizados para implementação de medidas de controle e prevenção destas doenças (CASARTELLI-ALVES *et al.*, 2015).



## 2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTALOVÁ, D.; REITEROVÁ, K. & DUBINSKÝ, P. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in wild boars (*Sus scrofa*) in the Slovak Republic. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 14, p. 71-73, 2007.
- ATTADEMO, F. L. M.; RIBEIRO, V. O.; SOARES, H. S.; LUNA, F. O.; SOUSA, G. P.; FREIRE, A. C. B.; GENNARI, S. M.; ALVES, L. C.; MARVULO, M. F. V.; DUBEY, J. P. & SILVA, J. C. R. Soroprevalence of *Toxoplasma gondii* in captive antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in Brazil. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 47, n. 2, p. 423-426, 2016.
- BEZERRA, R. A.; GINÉ, G. A. F.; MACIEL, B. M.; GAIOTTOF. M. & ALBUQUERQUE, G. R. Identifications and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* in free-ranging bristle-spined porcupine (*Chaetomys subspinosus*), a threatened arboreal mammal from the Brazilian Atlantic Forest. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 277, p. 1-6, 2015.
- BÓIA, M. N.; CARVALHO-COSTA, F. A.; SODRÉ, F. C.; PINTO, G. M. T. & AMENDOEIRA, M. R. R. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection among indian people living in Iauareté, São Gabriel da Cachoeira, Amazonas, Brazil. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 50, n. 1, p. 17-20, 2008.
- BRÜGGMANN, D.; HANDL, V.; KLINGELHÖFER, D.; JAQUE, J. & GRONEBERG, D. A. Congenital toxoplasmosis: an in-depth density-equalizing mapping analysis to explore its global research architecture. **Parasites & Vectors**, v. 8, p. 1-13, 2015.
- CAÑON-FRANCO, W. A.; ARAÚJO, F. A. P. & GENNARI, S. M. *Toxoplasma gondii* in small neotropical wild felids. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 1, p. 50-67, 2013.
- CASARTELLI-ALVES, L.; AMENDOEIRA, M. R. R.; BOECHAT, V. C.; FERREIRA, L. C.; CARREIRA, J. C. A.; NICOLAU, J. L.; TRINDADE, E. P. F.; PEIXOTO, J. N. B.; MAGALHÃES, M. A. F. M.; OLIVEIRA, R. V. C.; SCHUBACH, T. M. P. & MENEZES, R. C. Mapping of the environmental contamination os *Toxoplasma gondii* by georeferencing

isolates from chickens in an endemic area in Southeast Rio de Janeiro State, Brazil. **Geospatial Health**, v. 10, n. 311, p. 20-25, 2015.

CONDOLEO, R.; MUSELLA, V.; MAURELLI, M. P.; BOSCO, A.; CRINGOLI, G. & RINALD, L. Mapping, cluster detection and evaluation of risk factors of ovine toxoplasmosis in Southern Italy. **Geospatial Health**, v. 11, n. 432, p. 206-212, 2016.

COSTA, G. H. N.; COSTA, A. J.; LOPES, W. B.; BRESCIANI, K. D. S.; SANTOS, T. R.; ESPER, C. R. & SANTANA, A. E. *Toxoplasma gondii*: infection natural congenital in cattle and an experimental inoculation of gestating cows with oocysts. **Experimental Parasitology**, v. 127, p. 277-281, 2011.

DAGUER, H.; VICENTE, R. G.; COSTA, T.; VIRMOND, M. P.; HAMANN, W. & AMENDOEIRA, M. R. R. Soroprevalência de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em bovinos e funcionários de matadouros da microrregião de Pato Branco, Paraná, Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1133-1137, 2004.

DUBEY, J. P. *Toxoplasma*: induced abortion in dairy goats. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 178, n. 7, p. 671-674, 1981.

DUBEY, J. P. (a) Toxoplasmosis in sheep - the last 20 years. **Veterinary Parasitology**, v. 163, p. 1-14, 2009.

DUBEY, J. P. (b) *Toxoplasma gondii* infections in chickens (*Galus domesticus*): Prevalence, clinical disease, diagnosis, and public health significance. **Journal of Zoonoses and Public Health**, v. 57, p. 60-73, 2009.

DUBEY, J. P.; MILLER, S.; DESMONTS, G.; THULLIEZ, P. & ANDERSON, W. R. *Toxoplasma gondii* induced abortion in dairy goats. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 188, n. 2, p. 159-162, 1986.

DUBEY, J. P. & BEATTIE, C.P. *Toxoplasmosis of Animals and Man*. Boca Raton, Florida: CRC, 220 p., 1988.

DUBEY, J. P.; GRAHAM, D. H.; BLACKSTON, C. R.; LEHMANN, T.; GENNARI, S. M.; RAGOZO, A. M. A.; NISHI, S. M.; SHEN, S. K.; KWOK, O. C. H.; HILL, D. E. & THULLIEZ, P. Biological and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from chickens (*Galus domesticus*) from São Paulo, Brazil: Unexpected findings. **International Journal for Parasitology**, v. 32, p. 99-105, 2002.

DUBEY, J. P.; GRAHAM, D. H.; DA SILVA, D. S.; LEHMANN, T. & BAHIA-OLIVEIRA, L. M. G. *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from Rio de Janeiro, Brazil: Mouse mortality, genotype, and oocysts shedding by cats. **Journal of Parasitology**, v. 89, p. 851-853, 2003.

DUBEY, J. P.; GENNARI, S. M.; LABRUNA, M. B.; CAMARGO, L. M. A.; VIANNA, M. C. B.; MARCET, P. L. & LEHMANN, T. Characterization of *Toxoplasma gondii* isolates in free-range chickens from Amazon, Brazil. **Journal of Parasitology**, v. 92, p. 36–40, 2006.

DUBEY, J. P.; APPLEWHAITE, L.; SUNDAR, N.; VELMURUGAN, G. V.; BANDINI, L. A.; KWOK, O. C. H.; HILL, R. & SU, C. Molecular and biological characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from Guyana, South America identified several unique and common parasite genotypes. **Parasitology**, v. 134, p. 1-7, 2007.

ESTEBAN-REDONDO, I. & INNES, E. A. *Toxoplasma gondii* infection in sheep and cattle. **Comparative immunology, microbiology infections disease**, v. 20, p. 191-197, 1997.

FERREIRA, E. C.; MARCHIORO, A. A.; GUEDES, T. A.; MOTA, D. C. G. A.; GUILHERME, A. L. F. & ARAÚJO, S. M. Association between seropositivity for *Toxoplasma gondii*, scholastic development of children and risk factors for *T. gondii* infection. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 107, p. 390-396, 2013.

FIGUEIREDO, J. F.; SILVA, D. A.; CABRAL, D. D. & MINEO, J. R. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in goats by the indirect haemagglutination, immunofluorescence and immunoenzymatic tests in the Region of Uberlândia, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 96, n. 5, p. 687-692, 2001.

GENNARI, S. M.; NIEMEYER, C.; SOARES, H. S.; MUSSO, C. M.; SIQUEIRA, G. C. C.; CATÃO-DIAS, J. L.; DIAS, R. A. & DUBEY, J. P. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* in seabirds from Abrolhos Archipelago, Brazil. **Veterinary Parasitology**, v. 226, p. 5052, 2016.

GONDIM, M. F. N.; ACOSTA, I. C. L.; RANGEL, M. C. V.; SOARES, H. S.; GENNARI, S. M.; DUBEY, J. P.; CUBAS, Z. S.; MORAES, W.; CHAPARRO, F. J.; BARRETO, F. C. C. & ROSSI-JUNIOR, J. L. Occurrence of *Toxoplasma gondii* antibodies in lowland tapirs maintained ex situ in Brazil and Paraguay. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, p. 1-4, 2017.

GUO, M.; DUBEY, J. P.; HILL, D.; BUCHANAN, R. L.; GAMBLE, H. R.; JONES, J. L. & PRADHAN, A. K. Prevalence and risk factors for *Toxoplasma gondii* infection in meat animals and meat products destined for human consumption. **Journal of Food Protection**, v. 8, p. 457-576, 2015.

HEJLÍČEK, K.; LITERÁK, I. & NEZVAL, J. Toxoplasmosis in wild mammals from the Czech Republic. **Journal of Wildlife Disease**, v. 33, p. 480-485, 1997.

INESS, E. A. A Brief History and Overview of *Toxoplasma gondii*. **Zoonoses Public Health**, v. 57, p. 1-7, 2010.

JESUS, R. F.; RODRIGUES, G. M.; SILVA, E. M.; CARNEIRO, A. J. B.; FRANKE, C. R.; CUNHA, R. M. & GONDIM, L. F. P. Toxoplasmatinae parasites in bats from Bahia State, Brazil. **Journal of Wildlife Diseases**, v. 53, n. 1, p. 144-147, 2017.

JURÁNCOVÁ, J.; OPSTEEGH, M.; NEUMAYEROVÁ, H.; KOVARCIK, K.; FRENCOVÁ, A.; BALÁZ, V.; VOLF, J. & KOUDELA, B. Quantification of *Toxoplasma gondii* in tissue samples of experimentally infected goats by magnetic capture and real-time PCR. **Veterinary Parasitology**, v. 193, p. 95-99, 2013.

LUO, H.; LI, K.; ZHANG, H.; GAN, P.; SHAHZAD, M.; WU, X.; LAN, Y. & WANG, J. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in zoo and domestic animals in Jiangxi Province, China. **Parasite**, v. 27, n. 7, p. 1-3, 2017.

MILLAR, P. R.; SOBREIRO, L. G.; BONNA, I. C. F. & AMENDOEIRA, M. R. R. A importância dos animais de produção na infecção por *Toxoplasma gondii* no Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 693-706, 2008.

OLIVEIRA, L. N.; COSTA-JUNIOR, L. M.; MELO, C. F.; RAMOS-SILVA, J. C.; BEVILAQUE, C. M. L.; AZEVEDO, S. S.; MURADIAN, V.; ARAÚJO, D. A. F.V.; DUBEY, J. P. & GENNARI, S.M. *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from the Northeast region of Brazil. **Journal of Parasitology**, v. 95, n. 1, p. 235-237, 2009.

ONUMA, S. S. M.; MELO, A. L. T.; KANTEK, D. L. Z.; CRAWSHAW-JUNIOR, P. G.; MORATO, R. G.; MAY-JÚNIOR, J. A.; PACHECO, T. A. & AGUIAR, D. M. Exposure of free-living jaguars to *Toxoplasma gondii*, *Neospora caninum* and *Sarcocystis neuroma* in the Brazilian Pantanal. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 23, n. 4, p. 547-553, 2014.

PIMENTEL, J. S.; GENNARI, S. M.; DUBEY, J. P.; MARVULO, M. F. V.; VASCONCELLOS, S. A.; MORAES, Z. M.; SILVA, J. C. R. & NETO, J. E. Inquérito sorológico para toxoplasmose e leptospirose em mamíferos selvagens neotropicais do Zoológico de Aracajú, Sergipe. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 29, n. 12, p. 1009-1014, 2009.

RIBEIRO, M. J. M.; ROSA, M. H. F.; BRUHN, F. R. P.; GARCIA, A. D. M.; ROCHA, C. M. B. M. D. & GUIMARÃES, A. M. Seroepidemiology of *Sarcocystis neurona*, *Toxoplasma gondii* and *Neospora* spp. among horses in the south of the state of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 25, n. 2, p.142-150, 2016.

SILVA, R. C.; ZETUN, C. B.; BOSCO, S. M. G.; BAGAGLI, E.; ROSA, P. S. & LANGONI, H. *Toxoplasma gondii* and *Leptospira* spp. infection in free-ranging armadillos. **Veterinary Parasitology**, v. 157, p. 291-293, 2008.

SILVA, R. C.; MACHADO, G. P.; CRUVINEL, T. M. A.; CRUVINEL, C. A. & LANGONI, H. Detections of antibodies of *Toxoplasma gondii* in wild animals in Brazil. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Disease**, v. 20, p. 1-4, 2014.

VANWORMER, E.; MILLER, M. A.; CONRAD, P. A.; GRIGG, M. E.; REJMANEK, D. & CARPENTER, T. E.; MAZET, J. A. K. Using molecular epidemiology to track *Toxoplasma gondii* from terrestrial carnivores to marine hosts: Implications for public health and conservation. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 8, n. 5, p. 1-14, 2014.

VARASCHIN, M. S.; GUIMARÃES, A. M.; HIRSCH, C.; MESQUITA, L. P.; ABREU, C. C.; ROCHA, C. M. B. M.; WOUTERS, F. & MOREIRA, M. C. Fatores associados a soroprevalência de *Neospora caninum* e *Toxoplasma gondii* em rebanhos caprinos na região sul de Minas Gerais. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 53-58, 2011.

WEBSTER, J. P. The effect of *Toxoplasma gondii* on animal behavior: Playing cat and mouse. **Schizophrenia Bulletin**, v. 33, n. 3, p. 752-756, 2007.

### 3. CAPÍTULO I

#### **Modelagem de nicho climático de *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae) associado aos animais silvestres no Brasil e os potenciais riscos a conservação**

##### **3.1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas, o desenvolvimento de novas ferramentas de análise de dados, bem como o rápido progresso da tecnologia da informação e suas conseqüências sobre a geração de dados, armazenamento e acessibilidade, trouxeram profundas mudanças na forma como a ciência aborda a biodiversidade (KUPERSHMIDT *et al.*, 2010). Todos esses avanços, resultaram em uma importante mudança conceitual, que permeou as pesquisas em biodiversidade. Estas não ficaram restritas à capacidade de coleta de novos dados, mas passaram a utilizar informações preexistentes em bases de dados alimentadas por instituições globais (RONDININI *et al.*, 2011).

Atualmente, a enorme quantidade de informação, acumulada ao longo do tempo, passou a ser objeto de análises, visando integrar resultados de estudos independentes (PIERRAT *et al.*, 2012a; PATRÃO *et al.*, 2015; SOR *et al.*, 2017). Essa mudança foi estimulada pela necessidade urgente de obter rapidamente informações sobre a biodiversidade, com especial interesse na detecção de padrões gerais e globais, que permitam monitorar mudanças, com o objetivo final de conservação das espécies (RONDININI *et al.*, 2011).

Essa mudança conceitual foi acompanhada por um grande avanço no desenvolvimento de ferramentas analíticas e modelos teóricos, bem como na adequação e integração de bancos de dados para a manutenção de repositórios públicos globais. Estes, disponibilizam dados genômicos, bibliográficos, climáticos, taxonômicos, biogeográficos, entre outros tipos de informações, permitindo a realização de estudos cada vez mais refinados, baseados em meta-

análises, modelagem ecológica, filogenômica e outras abordagens (HIRZEL & LE LAY, 2008; KUPERSHMIDT *et al.*, 2010; PIERRAT *et al.*, 2012a; PATRÃO *et al.*, 2015; SOR *et al.*, 2017).

A modelagem de nicho ecológico (MNC) tem surgido como uma abordagem promissora para a conservação da biodiversidade, pois permite a geração de informações em amplas escalas geográficas, taxonômicas e temporais, fazendo uso de bancos de dados globais. A MNC, em particular, tem sido aplicada a diversos grupos de organismos com o objetivo de gerar modelos preditivos em um cenário de mudanças climáticas globais (WIENS *et al.*, 2009; PIERRAT *et al.*, 2012b; JARVIE & SVENNING, 2018; TORRE *et al.*, 2018).

Entre as bases teóricas desenvolvidas nas últimas décadas e, mais recentemente, aplicadas à MNC, o conceito de adequabilidade de habitat tem sido aplicado em estudos que visam reconhecer distribuições geográficas de espécies, prever as suas futuras distribuições num cenário de alterações climáticas e relacionar a disponibilidade de habitats adequados e o estado de conservação das espécies (LE PAPE *et al.*, 2007; RONDININI *et al.*, 2011; SWANNACK *et al.*, 2014; PATRÃO *et al.*, 2015; LINHOSS & SIEGERT, 2016; MANYANGADZE *et al.*, 2016). É interessante notar que grande parte desses estudos, não são baseados em dados originais, mas em dados de tentativas anteriores de monitoramento de espécies (PAPES *et al.*, 2016; SOR *et al.*, 2017), ou mesmo dados coletados anteriormente, disponibilizados em coleções ou repositórios, e nunca antes analisados (SAUPE *et al.*, 2014).

A MNC aplicada a estudos sobre parasitos, é relativamente escassa em comparação com animais de vida livre, apesar do crescente interesse na mudança climática como um fator de emergência de doenças (PATZ *et al.*, 2000; LAFFERTY, 2009; CARLSON *et al.*, 2017). De particular interesse, é o uso de MNC para entender as interações entre parasitos, hospedeiros e vetores, com o intuito de prever mudanças de escala relacionadas à expansão ou contração



de áreas adequadas para o estabelecimento da doença, em um cenário de mudanças climáticas (LIRA-NORIEGA & PETERSON, 2014; MCINTYRE *et al.*, 2017). A expansão futura foi prevista para agentes etiológicos de importantes doenças parasitárias como a Leishmaniose (GONZÁLES *et al.* 2010), Esquistossomose (YANG & BERGQUIST, 2018), Malária (LAPORTA *et al.* 2015), Tripanosomíase (NICHOLS *et al.*, 2018), cujos ciclos de vida ou o contato entre patógenos, hospedeiros e vetores, podem ser facilitados pelas mudanças climáticas. Outros estudos com parasitos dos gêneros *Leucocytozoon* (CORNUAULT *et al.*, 2013), *Leishmania* (MCINTYRE *et al.*, 2017) e *Toxoplasma* (MEERBURG & KIJLSTRA, 2009), abordam o papel da divergência de nicho ecológico na separação de linhagens de parasitos, interações entre vetores, hospedeiros e parasitos, mudanças de escala em resposta a cenários de mudanças climáticas, entre outros aspectos, mostrando-se a importância da abordagem de MNC para o estudo e conhecimento dessas espécies.

No que tange o parasito *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae), os trabalhos envolvendo modelagem ecológica são muito escassos, sendo voltados principalmente para pequenos grupos de animais em regiões muito específicas (CASARTELLI-ALVES *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016). A variedade de hospedeiros intermediários, formas infecciosas e modos de transmissão, associados à distribuição cosmopolita de *T. gondii* (MILLAR *et al.*, 2008; DUBEY, 2009), torna esta espécie um assunto interessante para estudos sobre MNC. Entretanto, tais aspectos também constituem um fator limitante para estudos de modelagem nesta espécie, visto que, torna-se inviável trabalhos com todas as formas do ciclo de vida deste parasito e em todos os diferentes tipos de hospedeiros.

As mudanças climáticas foram identificadas como um dos principais impulsionadores da extinção de espécies selvagens, incluindo espécies de parasitos (CIZAUSKAS *et al.*, 2017). O impacto negativo mais óbvio das mudanças climáticas sobre a biodiversidade, é a redução

drástica de habitats adequados para as espécies. Outro fator importante, mas relativamente não investigado, com impacto sobre a conservação de espécies, é o surgimento de doenças parasitárias mediadas por mudanças climáticas (GALLANA *et al.*, 2013; CARLSON *et al.*, 2017; SHORT *et al.*, 2017).

Os efeitos negativos da toxoplasmose sobre a reprodução de espécies silvestres têm sido apontados como uma questão importante, com impactos no crescimento populacional destes animais (SILVA *et al.*, 2008; DUBEY *et al.*, 2009; PIMENTEL *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2014; ONUMA *et al.*, 2014; VANWORMER *et al.*, 2014; BEZERRA *et al.*, 2015; ATTADEMO *et al.*, 2016; GENNARI *et al.*, 2016; GONDIM *et al.*, 2017; JESUS *et al.*, 2017; LUO *et al.*, 2017). A toxoplasmose também é uma questão de saúde e bem-estar para animais silvestres mantidos em cativeiro (INNES, 2010). A proximidade de vários hospedeiros intermediários e definitivos potenciais, a baixa imunidade causada pelo estresse do cativeiro e contaminação de água e alimentos por oocistos, podem favorecer a transmissão e exacerbar os efeitos negativos da doença.

Estudos sobre toxoplasmose associados a fauna silvestre são escassos e relacionados principalmente ao uso de espécies como sentinelas de contaminação ambiental por oocistos (DUBEY *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009 ANDRADE *et al.*, 2016; GENNARI *et al.*, 2016a), bem como a triagem de linhagens genéticas do parasito (DUBEY *et al.*, 2002; DUBEY *et al.*, 2003; DUBEY *et al.*, 2006; DUBEY *et al.*, 2007; DUBEY *et al.*, 2009; OLIVEIRA *et al.*, 2009; VITALIANO *et al.*, 2014).

Há fortes evidências de aumento do risco de exposição dos animais silvestres a parasitos como resultado de alterações no habitat causadas por mudanças climáticas, uso da terra, poluição e pressão populacional perto das bordas das áreas protegidas (SHORT *et al.*, 2017). No Brasil, no entanto, a maioria dos estudos que tratam de infecções parasitárias em

animais silvestres, estão relacionadas a uma ou poucas espécies hospedeiras, em áreas geográficas restritas. Assim, pouco se conhece sobre a distribuição geográfica das doenças parasitárias, incluindo a toxoplasmose, e seus impactos na fauna silvestre, no território brasileiro.

Existe um interesse crescente em acessar os efeitos das mudanças climáticas nas doenças parasitárias transmitidas passivamente por alimentos e água contaminados, e sob forte influência das condições ambientais, como é o caso da toxoplasmose (HUNTER, 2003; SHORT *et al.*, 2017). No entanto, fatores ambientais relacionados ao risco de transmissão da toxoplasmose, tem sido estudados principalmente em escalas locais (BRÜGGMANN *et al.*, 2015; CASARTELLI-ALVES *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016). Estudos baseados em georreferenciamento e modelagem ecológica, para avaliar o papel dos fatores climáticos e geográficos na distribuição da toxoplasmose em grandes escalas, ainda são raros (AFONSO *et al.*, 2013; CASARTELLI-ALVES *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016). Essa lacuna de conhecimento, no entanto, pode ser mitigada através do uso de abordagens que permitam a análise integrativa de informações disponíveis em repositórios globais.

Assim, no presente estudo, realizou-se a modelagem de nicho climático de *T. gondii* associada a hospedeiros silvestres em território brasileiro. Forneceu-se um modelo de distribuição de espécies, com base nas atuais restrições de nicho climático e caracterizando a adequação do habitat. Também foram fornecidos modelos de previsões futuras da distribuição da toxoplasmose em um cenário de mudanças climáticas, com uma perspectiva otimista e pessimista, com fim de verificar possíveis expansões ou retrações da área de adequabilidade desta espécie.

## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

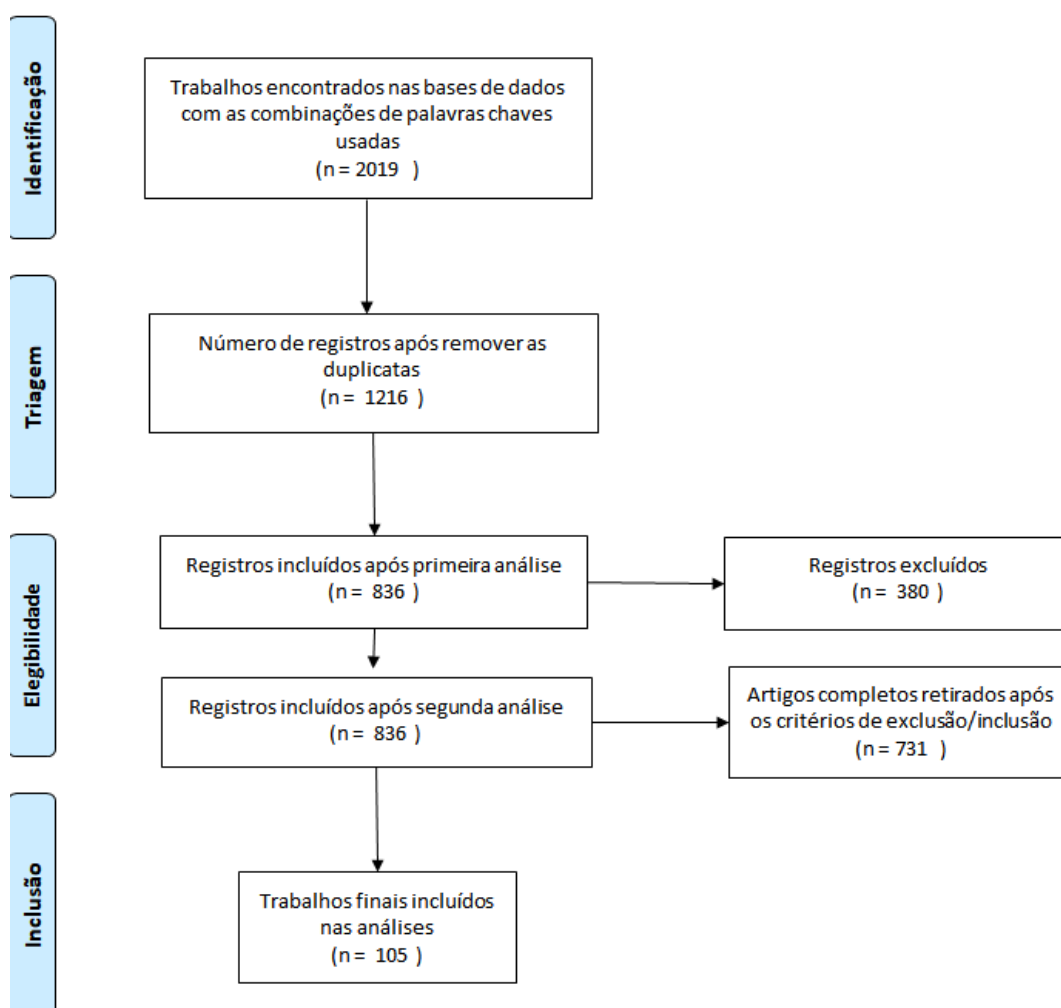
### **3.2.1. Registros de presença de toxoplasmose em animais silvestres no Brasil**

#### **3.2.1.1. Fontes**

Para compilar registros da presença de *T. gondii* associada a animais silvestres no Brasil, foram pesquisadas as bases de dados on-line *Scopus* (*Elsevier*), *Web of Science* (Thomson Reuters), *PubMed* e *Scielo* (Scientific Electronic Library Online), para estudos relevantes realizados entre 01/01/1997 a 30/12/2017, incluindo os últimos 20 anos de pesquisa em toxoplasmose. A busca foi realizada no período de março de 2017 a junho de 2018, utilizando os termos “*Toxoplasma gondii*” e “conservação”, “preservação”, “animais silvestres”, “Brasil”. Os trabalhos utilizados faziam menção á toxoplasmose associada a mamíferos e aves silvestres no território brasileiro. Todos os registros de presença de *T. gondii* associados a animais silvestres no Brasil foram compilados em um banco de dados do software Microsoft Excel para análise posterior.

#### **3.2.1.2. Critérios de inclusão e exclusão**

Foram incluídos apenas artigos originais, notas científicas e revisões na análise. Não foram considerados livros, capítulos de livros, apresentações publicadas em reuniões de anais e resumos de reuniões editoriais (Figura 1).



**Figura 1.** Trabalhos analisados após a inserção dos critérios de exclusão e inclusão de cada manuscrito nas análises. Adaptado de MOHER *et al.*, 2009.

### 3.2.2. Modelagem de Nicho Climático

#### 3.2.2.1. Preparação dos dados para modelagem

Os registros de presença coletados das fontes bibliográficas foram escaneados para as localidades de ocorrência de *T. gondii*, associadas aos hospedeiros silvestres. Os dados (somente registros de presença) foram georreferenciados em termos de coordenadas de longitude e latitude, expressas em graus e em minutos, com o auxílio do software Google Earth Pro.Ink. Registros de presença de *T. gondii* em animais silvestres obtidos da literatura científica podem ser tendenciosos, dados os padrões de pesquisa que favorecem locais mais próximos de

centros de pesquisa e assentamentos humanos (considerando animais em cativeiro). Para mitigar possíveis disparidades de intensidade de amostragem entre diferentes regiões do Brasil, foi corrigido o viés causado pela maior densidade de registros de ocorrência em determinadas áreas, criando uma grade de viés, que consistia em um fundo de células de ocorrência (presença/ausência), baseado na probabilidade de ocorrência das espécies independentemente dos registros, diminuindo a importância das áreas com maior intensidade de amostragem. Essa correção foi feita dentro do próprio *Maxent*.

### **3.2.2.2. Variáveis Bioclimáticas**

No banco de dados mundial WorldClim (<http://www.worldclim.org>) foram obtidas as variáveis bioclimáticas existentes para todas as regiões do globo. Foram utilizados dados climáticos históricos, chamados nesta base de “variáveis do presente” (1970-2000) e “variáveis do futuro” (até 2050), sendo que esta última apresenta previsões em diferentes perspectivas num cenário de mudanças climáticas. Em função disso, foram utilizados os cenários otimista (futuro 26\_50) e pessimista (futuro 85\_70), para melhor representar as previsões de mudanças futuras. Estes cenários receberam estas denominações, pois estima-se que poderão haver alterações ambientais brandas (otimista), como a elevação da média de temperatura mundial em torno de 2°C. Também estimam-se que poderão haver alterações mais bruscas (pessimista), que influenciarão todas as variáveis ambientais em níveis muito elevados. Como as variáveis bioclimáticas obtidas no Worldclim são para o globo, e a região de estudo foi o território brasileiro, foi necessário recortar as variáveis apenas para o Brasil. Este processo foi feito utilizando-se o software Quantum gis 2.0, com a função de extração de máscaras, onde foram criadas camadas do tipo raster específicas para cada uma das variáveis bioclimáticas. Muitas variáveis são correlacionadas, o que poderia causar um enviesamento na análise. Para corrigir o problema da multicolinearidade, foi realizado um teste de correlação entre as variáveis, para verificar quais possuem alto grau de correlação e selecionar apenas as que melhor responderiam

a distribuição de *T. gondii*. Após analisar o teste de correlação (Apêndice 1), considerou-se as variáveis correlacionadas aquelas que possuíam valores de  $p > 0.90$ . Foram selecionadas doze variáveis bioclimáticas para a camada do Brasil. São elas: Bio 1 (média de temperatura anual); Bio 2 (média de alcance de temperatura diurna); Bio 3 (isotermalidade); Bio 5 (temperatura máxima do mês mais quente); Bio 7 (alcance anual de temperatura [Bio 5 e Bio 6]); Bio 8 (média de temperatura do trimestre mais chuvoso); Bio 12 (precipitação anual); Bio 13 (precipitação do mês mais chuvoso); Bio 14 (precipitação do mês mais seco); Bio 15 (precipitação sazonal – coeficiente de variação); Bio 18 (precipitação do trimestre mais quente); Bio 19 (precipitação do trimestre mais frio).

### **3.2.2.3. Modelagem**

Para a MNC, foi escolhido o algoritmo Maxent. Este leva em consideração os dados de presença e ausência, computando uma provável distribuição dentro da área de estudo, que preenche as limitações derivadas das condições ambientais nos locais de presença atuais, selecionando uma área com entropia máxima, dentro da área de distribuição especificada (PHILLIPS *et al.*, 2006; ELITH *et al.*, 2011). Entre vários algoritmos de modelagem, os modelos gerados pelo Maxent, têm apresentado um desempenho consistente quando usados para prever área adequada de espécies, bem como as mudanças de habitat devido a mudanças climáticas e padrões ecológicos de espécies (ELITH *et al.*, 2006; ELITH *et al.*, 2011).

### **3.2.2.4. Calibração e validação do modelo**

A validação do modelo foi implementada dentro do próprio Maxent. Foram criadas dez réplicas para cada uma das variáveis selecionadas. Para a geração do modelo foi feita a média destas 10 réplicas, para evitar ruídos que o programa possa ter gerado durante alguma etapa do processo. Também foi selecionado no próprio Maxent, em sua configuração, a opção de geração de curvas de resposta para cada uma das variáveis individualmente e para as

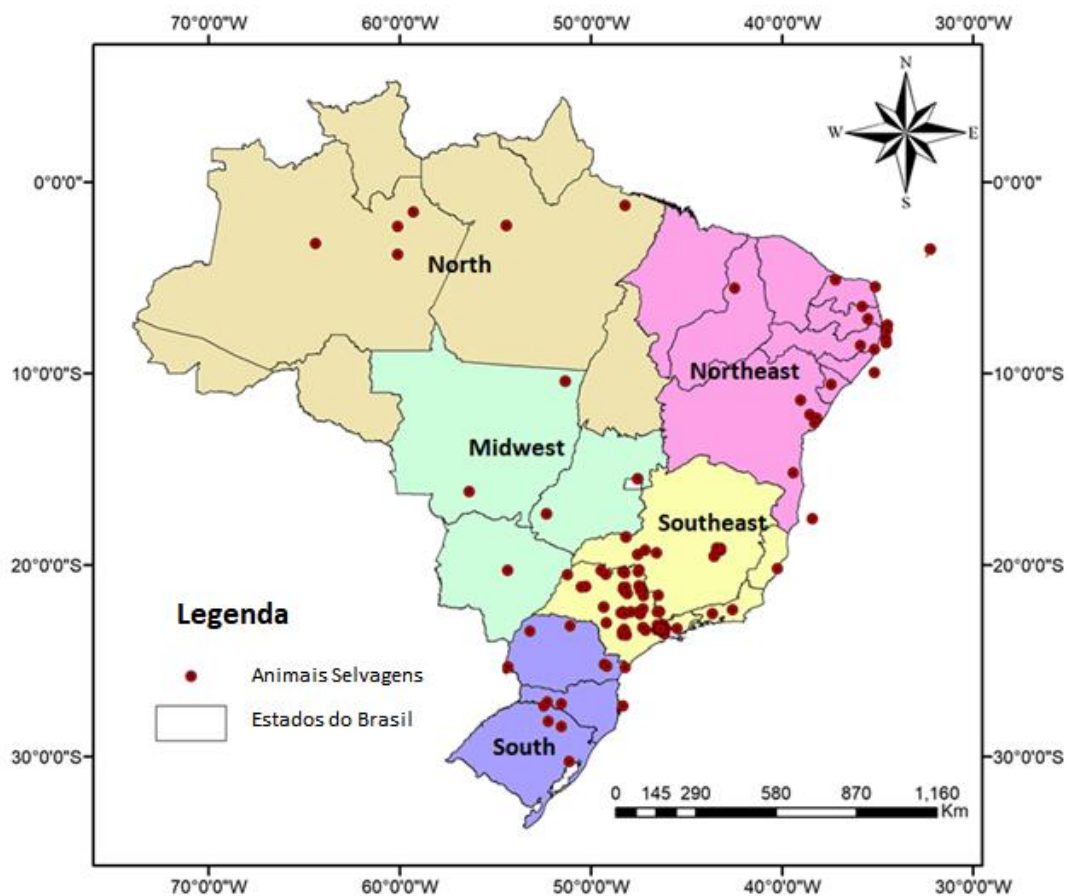
variáveis em conjunto. A acurácia do modelo foi validada através do coeficiente de correlação e do método AUC (escore maior que 0,70,  $p < 0,05$ ). O modelo foi calibrado em um subconjunto aleatório de 70% dos dados disponíveis e avaliado nos 30% restantes. O modelo foi considerado aceitável quando apresentou valores de AUC superiores a 0,70.



### 3.3. RESULTADOS

#### 3.3.1. Registros de toxoplasmose em animais silvestres no Brasil

Registros de *T. gondii* infectando animais silvestres, não foram distribuídos uniformemente em todo o território brasileiro, ficando concentrado nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (Figura 2). O número de registros de ocorrência associados a hospedeiros em cativeiro (n = 83; 30.19%) foi menor em comparação com os hospedeiros de vida livre (n = 192; 69.81%). O número de registros de *T. gondii* infectando mamíferos (n = 205; 74.55%) (principalmente espécies terrestres e voadoras), foi maior em comparação com aves silvestres (n = 70; 25.45%). Encontrou-se poucos estudos sobre felídeos (n = 27; 9.82%) em relação aos demais grupos de hospedeiros (n = 248; 90.18%), e tais estudos relacionavam-se com animais em cativeiro.

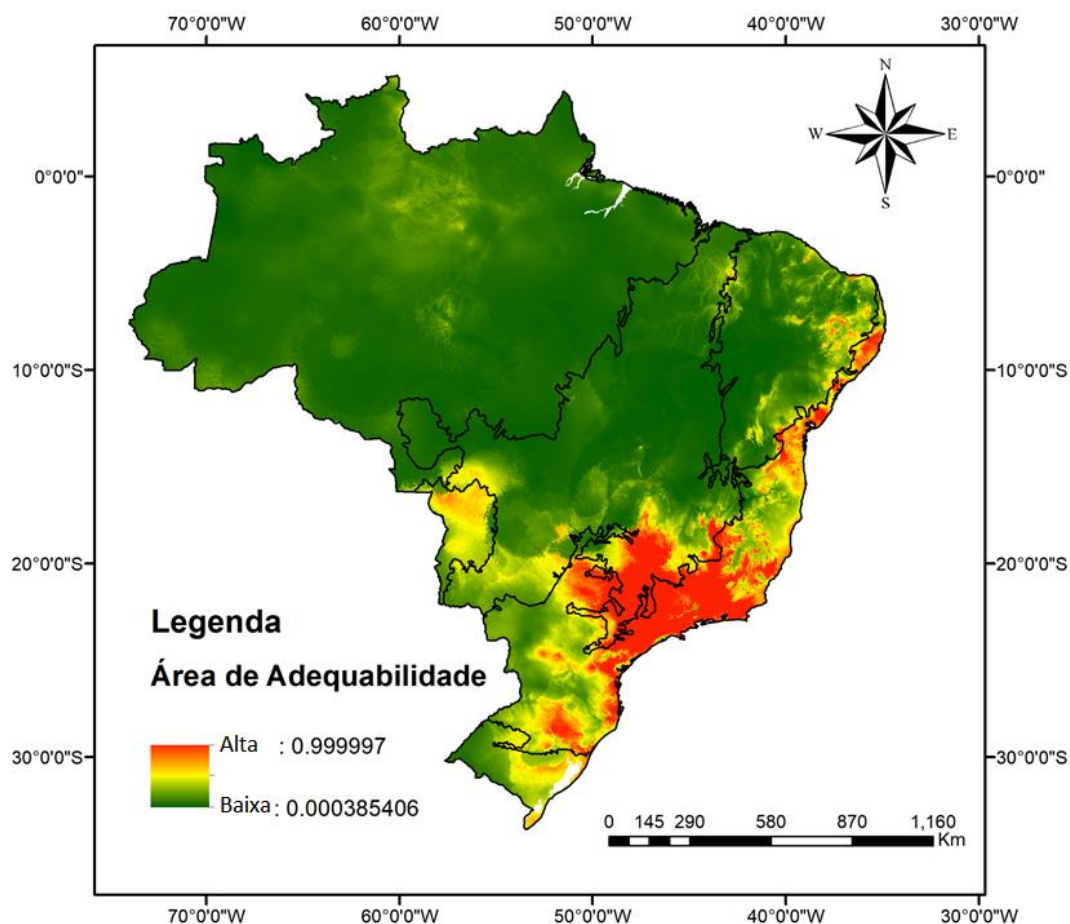


**Figura 2.** Distribuição dos pontos de ocorrência de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no território brasileiro.

### **3.3.2. Modelagem de nicho climático**

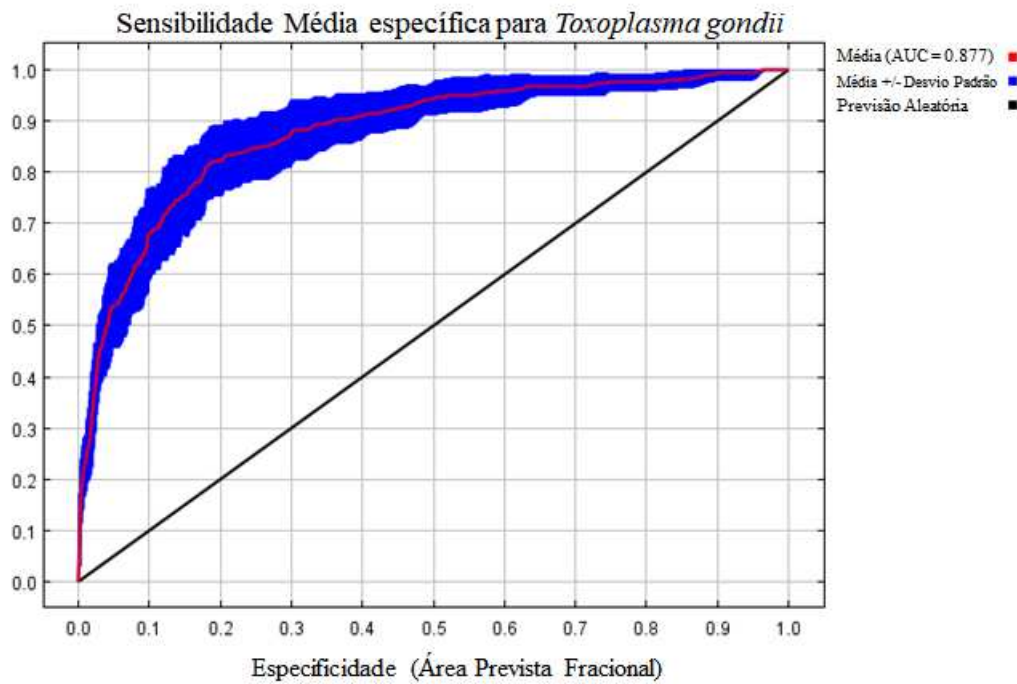
#### **3.3.2.1. Áreas de adequabilidade para infecção por *T. gondii* em animais silvestres (nicho fundamental atual)**

O modelo de nicho produzido no Maxent mostrou, que as áreas de maior adequabilidade para ocorrência de *T. gondii*, associada aos animais silvestres no Brasil, estendem-se, principalmente, ao longo da costa leste do país. O modelo identificou o Sudeste do Brasil como a região que possui as condições climáticas atuais mais adequadas para o *T. gondii* (vermelho no mapa atual da Figura 3). Nesta região, as áreas de adequação climática correspondem a toda a extensão dos estados do Rio de Janeiro e o Espírito Santo, além de quase toda a extensão de São Paulo, e grande parte do estado de Minas Gerais, incluindo os biomas Floresta Atlântica e Cerrado. A presença de áreas de adequabilidade no Sul do Brasil foi menos expressiva, correspondendo ao bioma Floresta Atlântica e áreas de adequabilidade intermediárias na região do Pampa. No Nordeste, estas áreas aparecem como pequenas bolsas disjuntas na costa do Oceano Atlântico. O modelo identificou algumas áreas de adequabilidade intermediária (amarelo e laranja no mapa atual da Figura 3) no Centro-oeste do Brasil, principalmente nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, correspondendo aos biomas Cerrado e Pantanal. O Norte do Brasil foi identificado como uma área de baixa adequabilidade para a infecção por *T. gondii* associado aos animais silvestres, sendo o bioma Floresta Amazônica pouco afetado (verde no mapa atual da Figura 3).



**Figura 3.** Área de adequabilidade para *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no Brasil. Manchas em vermelho são locais que possuem o maior número de características adequadas, em contrapartida, áreas em verde apresentam as características menos favoráveis para ocorrência desta associação parasitária.

A figura 4 apresenta o desempenho do modelo representado pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,87 \pm 0,033$  ( $p < 0,05\%$ ).



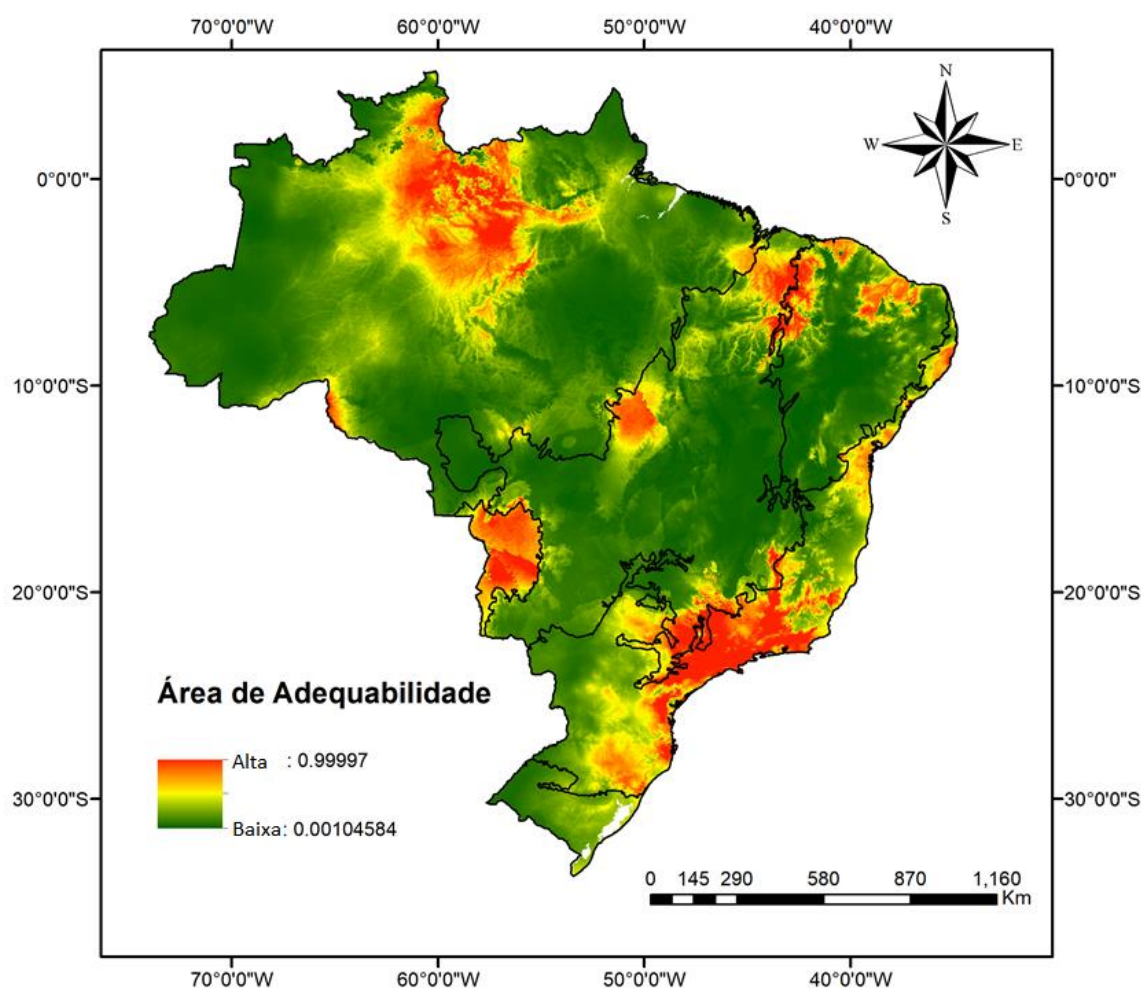
**Figura 4.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ).

### 3.3.2.2. Áreas adequadas para infecção por *T. gondii* em animais silvestres (Nicho Projetado)

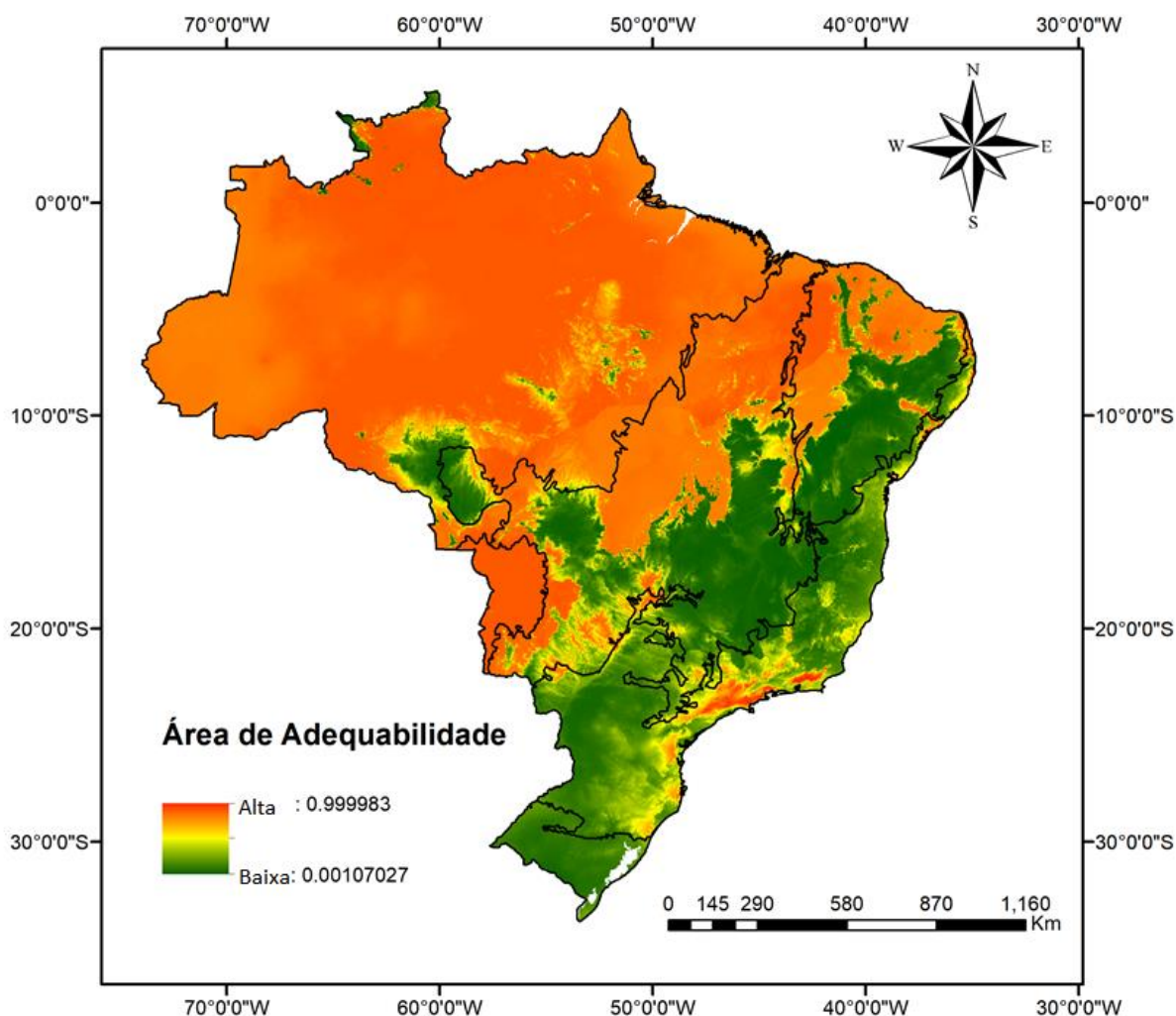
Os dois modelos projetados para o futuro (Figuras 5 e 6) previram modificações na distribuição das condições climáticas adequadas para *T. gondii* associado aos animais silvestres. Ambos os cenários, otimista (Figura 5) e pessimista (Figura 6), indicaram um padrão de contração na parte sul da faixa de distribuição, embora o cenário pessimista tenha mostrado uma contração mais substancial.

Os cenários de mudanças climáticas indicaram um futuro aumento na área de adequabilidade para *T. gondii* associado aos animais silvestres nas regiões Norte, Centro-Oeste e no interior do Nordeste do Brasil, abrangendo os biomas Floresta Amazônica, Pantanal, Cerrado e Caatinga. O modelo baseado em um cenário otimista, prevê áreas de maior adequabilidade distribuídas em manchas pelos biomas Floresta Amazônica, Cerrado e

Caatinga, em toda a extensão do bioma Pantanal, e áreas de baixa adequabilidade no bioma Pampa (Figura 5). Já o modelo baseado em um cenário pessimista, prevê que o parasito *T. gondii* associado aos animais silvestres, terá grande área de adequabilidade na região Norte, correspondente a todos os estados abrangidos pelo bioma Floresta Amazônica e toda a extensão do bioma Pantanal, além de grande parte do Cerrado e Caatinga, enquanto o bioma Pampa apresenta-se como área de baixa adequabilidade e o bioma Floresta Atlântica, apresenta-se como área de adequabilidade intermediária em pequenas regiões específicas, distribuídas em manchas nas regiões Sul e Sudeste (Figura 6).

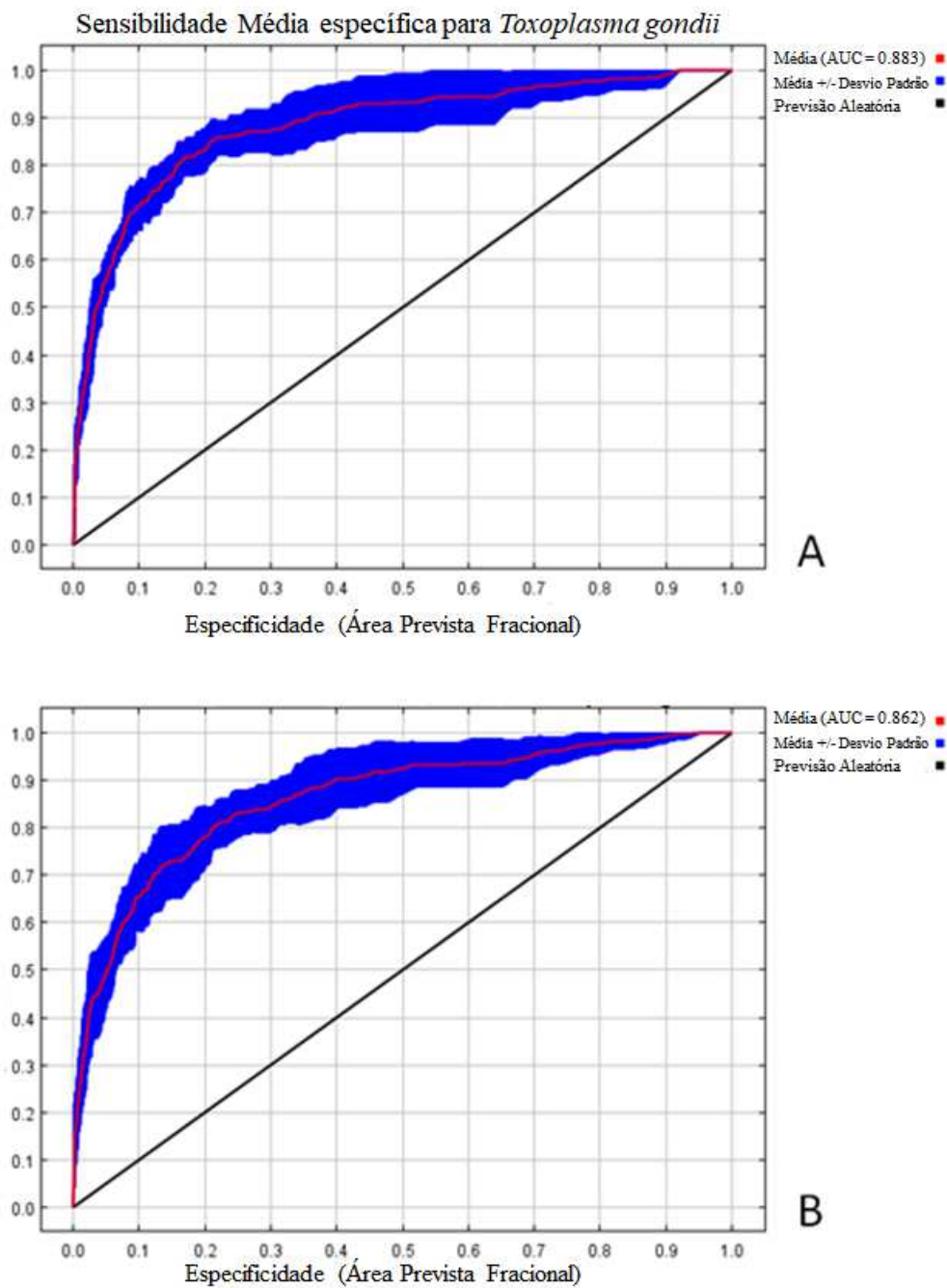


**Figura 5.** Área de adequabilidade para a toxoplasmose associada aos animais silvestres no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.



**Figura 6.** Área de adequabilidade para a toxoplasmose associada aos animais silvestres no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.

A Figura 7 apresenta o desempenho do modelo baseado nos cenários otimistas (Figura 7 A) e pessimistas (Figura 7 B), representados pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). Os valores de AUC para as execuções replicadas foram de  $0,88 \pm 0,032$  ( $p < 0,05\%$ ) e  $0,86 \pm 0,039$  ( $p < 0,05\%$ ), respectivamente.



**Figura 7.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70, validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent.

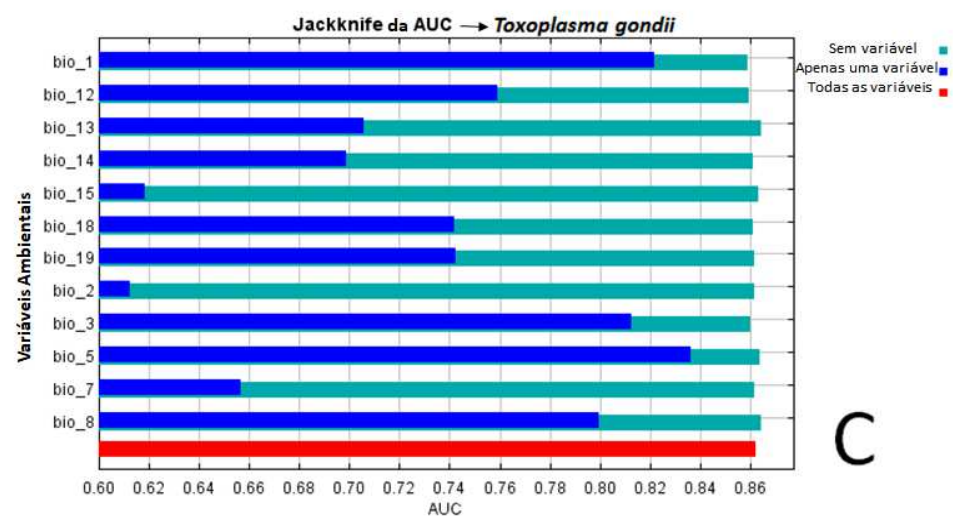
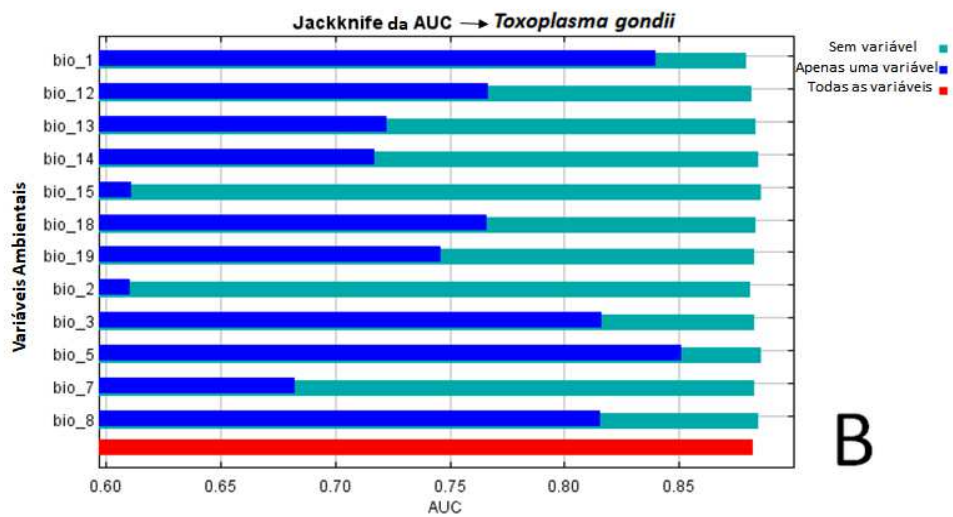
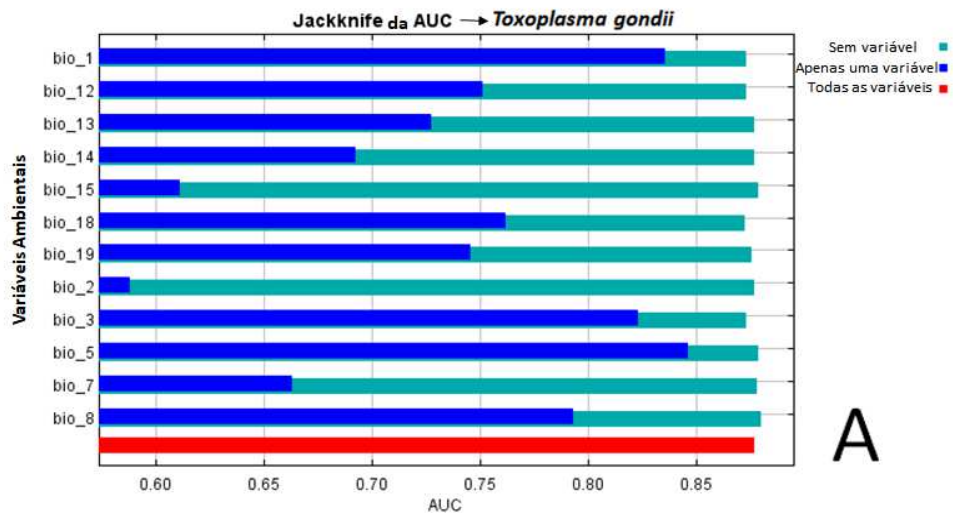
### 3.3.2.3. Efeito das variáveis climáticas no modelo

A tabela 1 mostra a porcentagem de contribuição de cada variável usada no modelo. As curvas na Figura 8 representam como cada variável climática influenciou a previsão feita pelo modelo, mostrando variações na probabilidade de ocorrência, impulsionadas por mudanças nas variáveis climáticas. As curvas mostram o efeito marginal de alterar uma variável, enquanto o modelo pode tirar proveito do conjunto de variáveis.

**Tabela 1.** Porcentagem de contribuição de cada variável bioclimática utilizada sobre o modelo de distribuição de *Toxoplasma gondii* associado aos animais silvestres no Brasil.

Variável Bioclimática	Porcentagem de Contribuição
Bio 1 = média de temperatura anual	29.9
Bio 5 = temperatura máxima do mês mais quente	29.8
Bio 18 = precipitação do trimestre mais quente	8.7
Bio 15 = Precipitação sazonal	7.6
Bio 3 = Isotermalidade	6.3
Bio 2 = média de alcance de temperatura diurna	5.6
Bio 14 = precipitação do mês mais seco	4.4
Bio 19 = precipitação do trimestre mais frio	2.4
Bio 12 = Precipitação anual	2.2
Bio 13 = precipitação do mês mais chuvoso	1.2
Bio 8 = média de temperatura do trimestre mais chuvoso	0.9
Bio 7 = Alcance anual de temperatura	0.9





**Figura 8.** Desempenho de cada uma das variáveis sobre a geração do modelo. A. Nicho fundamental. B. Nicho projetado cenário otimista (Worldclim 26\_50). C. Nicho projetado cenário pessimista (Worldclim 85\_70).

### 3.4. DISCUSSÃO

Estudos sobre modelagem ecológica, incluindo modelagem de nicho climático de espécies parasitas, são relativamente escassos em comparação com espécies de vida livre. Nichos climáticos de parasitos heteroxenos com ciclos de vida complexos, como é o caso de *Toxoplasma gondii*, são ainda mais difíceis de serem estudados. O ciclo de vida de *T. gondii* possui algumas características que apresentam muitas dificuldades metodológicas, como a presença de muitas formas de vida, oocistos no ambiente, formas intra-teciduals e formas sanguíneas nos hospedeiros. Além de várias espécies que podem atuar como hospedeiros potenciais, ocupando uma ampla gama de habitats (DUBEY, 2009a). Alguns estudos recentes mostraram que formas infectantes podem ser dispersadas por vetores físicos, como vetores hidrológicos, chegando a hospedeiros intermediários selvagens, mesmo em áreas onde os felinos (hospedeiros definitivo) estão ausentes (LYNDSAY & DUBEY, 2009; SIMON *et al.*, 2013). Essa grande capacidade de dispersão das formas infectantes, associada a restrições metodológicas, torna a amostragem de hospedeiros infectados uma fonte mais eficaz de dados de distribuição, do que a detecção de formas infecciosas no ambiente (ESCOBAR *et al.*, 2017). No entanto, mesmo considerando somente hospedeiros infectados como fonte de dados de distribuição para *T. gondii*, a modelagem do nicho climático desse parasito não é uma tarefa fácil, uma vez que esta espécie apresenta uma ampla gama de hospedeiros, incluindo praticamente todos os animais de sangue quente (DUBEY, 2009a). Contudo, essas dificuldades podem ser superadas através da modelagem de grupos específicos de hospedeiros, em áreas geográficas definidas, como mostrado na pesquisa de ESCOBAR *et al.* (2017), que realizaram a modelagem ecológica de *T. gondii* infectando felídeos selvagens na América do Norte.

No presente estudo, utilizamos apenas mamíferos e aves silvestres, como fonte de dados de distribuição de *T. gondii* no território brasileiro. Essa escolha foi feita, porque uma das principais dificuldades em fornecer modelos de distribuição de nicho climático para essa

espécie, é evitar vieses em direção as regiões geográficas sob o efeito de fatores antropogênicos, que promovem a disseminação desse parasito. No presente estudo, nosso objetivo foi avaliar o nicho climático de *T. gondii* associado a animais silvestres e a inclusão de animais de produção e companhia, como fonte de dados distributivos, poderia levar a um viés para regiões com maior concentração de rebanhos e densidade de gatos domésticos. Além disso, como a pesquisa sobre *T. gondii* no Brasil está principalmente concentrada na toxoplasmose em animais de produção, a inclusão destes registros de ocorrência, poderia levar a um viés em direção a regiões para as quais esta doença é mais intensamente estudada. Assim, a interpretação do nicho climático do parasito foi baseada em dados distribucionais de hospedeiros intermediários selvagens infectados, principalmente em seus habitats silvestres. Dados de distribuição de hospedeiros intermediários domésticos e gatos não foram incluídos no modelo.

O modelo mostrou que as áreas climáticas adequadas para *T. gondii* associadas aos animais silvestres, estendem-se, principalmente, ao longo da costa leste do Brasil. Esta região incorpora o ecossistema da Floresta Atlântica e está sob clima tropical, com invernos secos e verões chuvosos, com as temperaturas anuais variando entre 20°C e 25°C. O fato de que áreas adequadas para *T. gondii* associadas aos animais silvestres estão concentradas no Sudeste do Brasil, fazem desta região, atualmente, uma área prioritária para controle e manejo dessa parasitose, com fins conservacionistas, considerando os efeitos severos da toxoplasmose na reprodução dos hospedeiros (CAÑÓN-FRANCO *et al.*, 2013a; BEZERRA *et al.*, 2015; ATTADEMO *et al.*, 2016; GENNARI *et al.*, 2016a; GONDIM *et al.*, 2017). Por outro lado, os modelos preditivos, baseados em cenários otimista e pessimista, indicam um padrão de contração na parte sul da faixa de distribuição atual de *T. gondii*, juntamente com um futuro aumento de novas áreas de adequabilidade, fora da faixa atual. Assim, os modelos prevêm, que a mudança climática poderá exacerbar o risco de transmissão da toxoplasmose aos hospedeiros silvestres em áreas onde esta parasitose é pouco estudada, sugerindo a adoção de

medidas de vigilância e controle nestas áreas, com o objetivo de mitigar os efeitos da toxoplasmose na fauna silvestre.

Os modelos gerados previram que a área de adequabilidade para *T. gondii* associado aos animais silvestres, tende a expandir para o norte do país, cobrindo todos os estados caracterizados pelo bioma Floresta Amazônica. Alguns estudos recentes, previram que a mudança climática futura levará a contração de florestas fechadas, ameaçando os biomas Floresta Amazônica e Floresta Atlântica (ZANIN *et al.*, 2017). Esta perda de floresta fechada ocorreria principalmente nas partes norte e oeste de sua distribuição atual. A substituição por vegetação aberta ao longo da área correspondente ao arco de desmatamento também foi prevista (ZANIN *et al.*, 2017). Os efeitos combinados da substituição do bioma Floresta Amazônica por biomas mais secos, como o Cerrado Tropical, juntamente com a expansão de áreas adequadas para doenças infecciosas (presente estudo, LAPORTA *et al.*, 2015), representam uma grave ameaça a vida selvagem na região amazônica, possivelmente exacerbando perda de biodiversidade no futuro não tão distante.

A região Norte do Brasil compreende a bacia do rio Amazonas, que é a maior bacia do planeta. O fluxo do rio Amazonas representa 15% da vazão total dos rios no mundo (BARTHEM *et al.*, 2005). Considerando a importância dos vetores hidrológicos para a dispersão de oocistos (LYNDSAY & DUBEY, 2009; Simon *et al.*, 2013), a expansão da faixa de potencial de *T. gondii* em direção ao norte, também tem importantes implicações relacionadas à dispersão dessas formas infectantes, que pode atingir ecossistemas costeiros no Oceano Atlântico, potencialmente infectando mamíferos aquáticos, que apresentam algumas das espécies mais sensíveis a toxoplasmose (INNES, 2010), colocando em risco estes animais silvestres, podendo aumentar o risco de extinção.

Os resultados do presente estudo apontaram possíveis mudanças na faixa de áreas de adequabilidade para *T. gondii* associado aos animais silvestres no Brasil, com um aumento na região Norte, Centro-Oeste e no interior da região Nordeste. O estabelecimento da toxoplasmose associada aos animais silvestres nesses novos habitats é factível, pois o parasito apresenta baixa especificidade de hospedeiro, diversas estratégias para dispersão de formas infectantes, através de vetores bióticos e abióticos, envolvendo uma multiplicidade de mecanismos, juntamente com a capacidade de resistência dos oocistos (SIMON *et al.*, 2013).

A região Nordeste apresentou-se como área de baixa propensão desta paritose, apesar da grande concentração de rebanhos caprinos e ovinos (ESTEBAN-REDONDO & INNES, 1997; DAGUER *et al.*, 2004; COSTA *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2016), e disponibilidade de registros bibliográficos de *T. gondii* associados aos animais silvestres nesta região. Este resultado mostra que o controle para viés de registros de ocorrências foi efetivo. As áreas atuais adequadas no Nordeste do Brasil apareceram como pequenas bolsas disjuntas correspondentes ao bioma da Floresta Atlântica. Contrariamente, os modelos baseados em cenários climáticos projetados para 2050, mostram a presença de áreas adequadas no bioma seco da Caatinga. A presença de novas áreas adequadas em um bioma mais seco, também foi prevista para a região Centro-Oeste, com a presença de áreas adequadas na savana tropical. Portanto, espera-se que o cenário atual, com a presença de áreas adequadas para *T. gondii*, principalmente no bioma Floresta Atlântica, mude significativamente, incorporando grandes áreas de adequação nos biomas Caatinga e savana tropical, juntamente com o bioma Floresta Amazônica e Pantanal, conforme discutido acima.

### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, C.; PAIXÃO, V. B. & COSTA, R. M. Chronic *Toxoplasma* infection modifies the structure and the risk of host behavior. **Plos One**, v. 7, n. 3, p. e32489, 2012.

AFONSO, E.; GERMAIN, E.; POULLE, M. L.; RUETTE, S.; DEVILLARD, S.; SAY, L.; VILLENA, I.; AUBERT, D. & GILOT-FROMONT, E. Environmental determinants of spatial and temporal variations in the transmission of *Toxoplasma gondii* in its definitive hosts. **International Journal of Parasitology**, v. 2, p. 278-85, 2013.

ANDRADE, L. H. M.; LUGARINI, C.; OLIVEIRA, R. A. S.; SILVA, L. T. R.; MARVULO, M. F. V.; GARCIA, J. E.; DUBEY, J. P. & SILVA, J. C. R. Ocorrência de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em aves silvestres de três Unidades de Conservação Federais da Paraíba e Bahia. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 103-107, 2016.

ARAMINI, J. J.; STEPHEN, C. & DUBEY, J. P. *Toxoplasma gondii* in Vancouver Island cougars (*Felis concolor vancouverensis*): Serology and oocyst shedding. **The Journal of Parasitology**, v. 84, n. 2, p. 438-440, 1998.

ATTADEMO, F. L. M.; RIBEIRO, V. O.; SOARES, H. S.; LUNA, F. O.; SOUSA, G. P.; FREIRE, A. C. B.; GENNARI, S. M.; ALVES, L. C.; MARVULO, M. F. V.; DUBEY, J. P. & SILVA, J. C. R. Soroprevalence of *Toxoplasma gondii* in captive antillean manatee (*Trichechus manatus manatus*) in Brazil. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 47, n. 2, p. 423-426, 2016.

BENENSON, M. W.; TAKAFUJI, E. T.; LEMON, S. M.; GREENUP, R. L. & SULZER, A. J. Oocyst-transmitted toxoplasmosis associated with ingestion of contaminated water. **New England Journal of Medicine**, v. 307, n. 11, p. 666-669, 1982.

BERENREITEROVÁ, M.; FLEGR, J.; KUBENA, A. A. & NEMEC, P. The distribution of *Toxoplasma gondii* cysts in the brain of a mouse with latent toxoplasmosis: Implications for the behavioral manipulation Hypothesis. **Plos One**, v. 6, n. 12, p. e28925, 2011.

BEZERRA, R. A.; GINÉ, G. A. F.; MACIEL, B. M.; GAIOTTOF, M. & ALBUQUERQUE, G. R. Identifications and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* in free-ranging bristle-spined porcupine (*Chaetomys subspinosus*), a threatened arboreal mammal from the Brazilian Atlantic Forest. **Parasites & Vectors**, v. 8, n. 277, p. 1-6, 2015.

BRÜGGMANN, D.; HANDL, V.; KLINGELHÖFER, D.; JAQUE, J. & GRONEBERG, D. A. Congenital toxoplasmosis: an in-depth density-equalizing mapping analysis to explore its global research architecture. **Parasites & Vectors**, v. 8, p. 1-13, 2015.

CAÑÓN-FRANCO, W. A.; ARAÚJO, F. A. P. & GENNARI, S. M. *Toxoplasma gondii* in small neotropical wild felids. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 1, p. 50-67, 2013(a).

CAÑÓN-FRANCO, W. A.; ARAÚJO, F. A. P.; LÓPEZ-OROZCO, N.; JARDIM, M. M. A.; KEID, L. B.; DALLA-ROSA, C.; CABRAL, A.D.; PENA, H. F. J. & GENNARI, S. M. *Toxoplasma gondii* in free-ranging wild small felids from Brazil: Molecular detection and genotypic characterization. **Veterinary Parasitology**, v. 197, p. 462-469, 2013(b).

CARLSON, C. J.; BURGIO, K. R.; DOUGHERTY, E. R.; PHILLIPS, A. J.; BUENO, V. M.; CLEMENTS, C. F.; CASTALDO, G.; DALLAS, T. A.; CIZAUSKAS, C. A.; CUMMING, G. S.; DOÑA, J.; HARRIS, N. C.; JOVANI, R.; MIRONOV, S.; MUELLERKLEIN, O. C.; PROCTOR, H. C. & GETZ, W. M. Parasite biodiversity faces extinction and redistribution in a changing climate. **Science Advances**, v. 3, p. e1602422, 2017.

CASARTELLI-ALVES, L.; AMENDOEIRA, M. R. R.; BOECHAT, V. C.; FERREIRA, L. C.; CARREIRA, J. C. A.; NICOLAU, J. L.; TRINDADE, E. P. F.; PEIXOTO, J. N. B.; MAGALHÃES, M. A. F. M.; OLIVEIRA, R. V. C.; SCHUBACH, T. M. P. & MENEZES, R. C. Mapping of the environmental contamination of *Toxoplasma gondii* by georeferencing isolates from chickens in an endemic area in Southeast Rio de Janeiro State, Brazil. **Geospatial Health**, v. 10, n. 311, p. 20-25, 2015.

CIZAUSKAS, C. A.; CARLSON, C. J.; BURGIO, K. R.; CLEMENTS, C. F.; DOUGHERT, E. R.; HARRIS, N. C. & PHILLIPS, A. J. Parasite vulnerability to climate change: an evidence-based functional trait approach. **Royal Society Open Science**, v. 4, p. e160535, 2017.

CONDOLEO, R.; MUSELLA, V.; MAURELLI, M. P.; BOSCO, A.; CRINGOLI, G. & RINALD, L. Mapping, cluster detection and evaluation of risk factors of ovine toxoplasmosis in Southern Italy. **Geospatial Health**, v. 11, n. 432, p. 206-212, 2016.

CORNUAULT, J.; KHIMOUN, A.; HARRIGAN, R.J.; BOURGEOIS, Y.X.C.; MILÁ, B.; THÉBAUD, C. & HEEB, P. The role of ecology in the geographical separation of blood parasites infecting an insular bird. **Journal of Biogeography**, v. 40, n. 7, p. 1313–1323, 2013.

COSTA, M. J. R. P. & PINTO, A. A. PRINCÍPIOS DE ETOLOGIA APLICADA AO BEM-ESTAR ANIMAL. *IN*: DEL-KLARO, K. & PREZOTO, F. **As distintas faces do comportamento animal**. Editora Uniderp, Campo Grande, MS, 211-223, 2003.

COSTA, G. H. N.; COSTA, A. J.; LOPES, W. B.; BRESCIANI, K. D. S.; SANTOS, T. R.; ESPER, C. R. & SANTANA, A. E. *Toxoplasma gondii*: infection natural congenital in cattle and an experimental inoculation of gestating cows with oocysts. **Experimental Parasitology**, v. 127, p. 277-281, 2011.

DAGUER, H.; VICENTE, R. G.; COSTA, T.; VIRMOND, M. P.; HAMANN, W. & AMENDOEIRA, M. R. R. Soroprevalência de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em bovinos e funcionários de matadouros da microrregião de Pato Branco, Paraná, Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1133-1137, 2004.

DUBEY, J. P. Toxoplasmosis in sheep - the last 20 years. **Veterinary Parasitology**, v. 163, p. 1-14, 2009(a).

DUBEY, J. P. *Toxoplasma gondii* infections in chickens (*Galus domesticus*): prevalence, clinical disease, diagnosis and public health significance. **Journal of Zoonoses and Public Health**, v. 57, p. 60-73, 2009(b).



DUBEY, J. P.; MILLER, S.; DESMONTS, G.; THULLIEZ, P. & ANDERSON, W. R. *Toxoplasma gondii* - induced abortion in dairy goats. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 188, n. 2, p. 159-162, 1986.

DUBEY, J. P.; GRAHAM, D. H.; BLACKSTON, C. R.; LEHMANN, T.; GENNARI, S. M.; RAGOZO, A. M. A.; NISHI, S. M.; SHEN, S. K.; KWOK, O. C. H.; HILL, D. E. & THULLIEZ, P. Biological and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from chickens (*Galus domesticus*) from São Paulo, Brazil: unexpected findings. **International Journal for Parasitology**, v. 32, p. 99-105, 2002.

DUBEY, J. P.; GRAHAM, D. H.; DA SILVA, D. S.; LEHMANN, T. & BAHIA-OLIVEIRA, L. M. G. *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from Rio de Janeiro, Brazil: Mouse mortality, genotype, and oocysts shedding by cats. **Journal of Parasitology**, v. 89, p. 851-853, 2003.

DUBEY, J. P.; GENNARI, S. M.; LABRUNA, M. B.; CAMARGO, L. M. A.; VIANNA, M. C. B.; MARCET, P. L. & LEHMANN, T. Characterization of *Toxoplasma gondii* isolates in free-range chickens from Amazon, Brazil. **Journal of Parasitology**, v. 92, p. 36-40, 2006.

DUBEY, J. P.; APPLEWHAITE, L.; SUNDAR, N.; VELMURUGAN, G. V.; BANDINI, L. A.; KWOK, O. C. H.; HILL, R. & SU, C. Molecular and biological characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from Guyana, South America identified several unique and common parasite genotypes. **Parasitology**, v. 134, p. 1-7, 2007.

DUBEY, J.P.; MERGL, J.; GEHRING, E.; SUNDAR, N.; VELMURUGAN, G.V.; KWOK, O.C.H.; GRIGG, M.E.; SU, C. & MARTINEAU, D. Toxoplasmosis in captive dolphins (*Tursiops truncatus*) and walrus (*Odobenus rosmarus*). **Journal of Parasitology**, v. 95, n. 1, p. 82-85, 2009.

DUBEY, J. P.; VELMURUGAN, G. V.; RAJENDRAN, C.; YABSLEY, M. J.; THOMAS, N. J.; BECKMEN, K. B.; SINNETT, D.; RUID, D.; HART, J.; FAIR, P. A.; MCFEE, W. E.; SHEARN-BOCHSLER, V.; KWOK, O. C. H.; FERREIRA, L. R.; CHOUDHARY, S.; FARIA, E. B.; ZHOU, H.; FELIX, T. A. & SU, C. Genetic characterisation of *Toxoplasma gondii* in

wildlife from North America revealed widespread and high prevalence of the fourth clonal type. **International Journal for Parasitology**, v. 41, n. 11, p. 1139–1147, 2011.

ELITH, J.; GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P.; DUDIK, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R. J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L. G.; LOISELLE, B.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J. M.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, S.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R.; SOBERON, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. & ZIMMERMAN, N. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, p. 129-151, 2006.

ELITH, J.; PHILLIPS, S. J.; HASTIE, T.; DUDIK, M.; CHEE, Y. E. & YATES, C. J. A statistical explanation of Maxent for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 43-57, 2011.

ESCOBAR, L.; CARVER, S.; ROMERO-ALVAREZ, D.; VANDEWOUDE, S.; CROOKS, K.; LAPPIN, M. & CRAFT, M. Inferring the Ecological Niche of *Toxoplasma gondii* and *Bartonella spp.* in Wild Felids. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 4, p. 172, 2017.

ESTEBAN-REDONDO, I. & INNES, E. A. *Toxoplasma gondii* infection in sheep and cattle. **Comparative Immunology, Microbiology Infections Disease**, v. 20, p. 191-197, 1997.

FERREIRA, J. R. V. & NAVARRO, I. T. Prevalência da infecção por *Toxoplasma gondii* em animais selvagens – Revisão. **Semina: Ciência Agrária**, v. 15, n. 1, p. 94-100, 1994.

FIGUEIREDO, J. F.; SILVA, D. A.; CABRAL, D. D. & MINEO, J. R. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in goats by the indirect haemagglutination, immunofluorescence and immunoenzymatic tests in the region of Uberlândia, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 96, n. 5, p. 687-692, 2001.

GALLANA, M.; RYSER-DEGIOGIS, M. P.; WAHLI, T. & SEGNER, H. Climate change and infectious diseases of wildlife: Altered interactions between pathogens, vectors and hosts. **Current Zoology**, v. 59, n. 3, p. 427-437, 2013.

GENNARI, S. M.; NIEMEYER, C.; CATAO-DIAS, J. L.; SOARES, H. S.; ACOSTA, I. C. L.; DIAS, R. A.; RIBEIRO, J. D.; LASSALVIA, C.; MARACINI, P.; KOLESNIKOVAS, C. K. M.; MAYORGA, L. & DUBEY, J. P. Survey of *Toxoplasma gondii* antibodies in magellanic penguins (*Spheniscus magellanicus* Forster, 1781). **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 47, n. 1, p. 364-366, 2016.

GONDIM, M. F. N.; ACOSTA, I. C. L.; RANGEL, M. C. V.; SOARES, H. S.; GENNARI, S. M.; DUBEY, J. P.; CUBAS, Z. S.; MORAES, W.; CHAPARRO, F. J.; BARRETO, F. C. C. & ROSSI-JUNIOR, J. L. Occurrence of *Toxoplasma gondii* antibodies in lowland tapirs maintained ex situ in Brazil and Paraguay. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, p. 1-4, 2017.

GUO, M.; DUBEY, J. P.; HILL, D.; BUCHANAN, R. L.; GAMBLE, H. R.; JONES, J. L. & PRADHAN, A. K. Prevalence and risk factors for *Toxoplasma gondii* infection in meat animals and meat products destined for human consumption. **Journal of Food Protection**, v. 78, n. 2, p. 457–476, 2015.

HUNTER, P. R. Climate change and waterborne and vector-borne disease. **Journal of Applied Microbiology**, v. 94, p. 375-465, 2003.

HIRZEL, A. H. & LE LAY, G. Habitat suitability modelling and niche theory. **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 5, p. 1372–1381, 2008.

INESS, E. A. A brief history and overview of *Toxoplasma gondii*. **Zoonoses Public Health**, v. 57, p. 1-7, 2010.

JARVIE, S. & SVENNING, J. C. Using species distribution modelling to determine opportunities for trophic rewilding under future scenarios of climate change. **Philosophical Transactions B**, v. 373, p. e20170446, 2018.

JESUS, R. F.; RODRIGUES, G. M.; SILVA, E. M.; CARNEIRO, A. J. B.; FRANKE, C. R.; CUNHA, R. M. & GONDIM, L. F. P. Toxoplasmatinae parasites in bats from Bahia State, Brazil. **Journal of Wildlife Diseases**, v. 53, n. 1, p. 144-147, 2017.

KUPERSHMIDT, I.; SU, Q. J.; GREWAL, A.; SUNDARESH, S.; HALPERIN, I.; FLYNN, J.; SHEKAR, M.; WANG, H.; PARK, J.; CUI, W.; WALL, G. D.; WISOTZKEY, R.; ALAG, S.; AKHTARI, S. & RONAGHI, M. Ontology based meta-analysis of global collections of high-throughput public data. **PLoS ONE**, v. 5, n. 9, p.: e13066, 2010.

LAFFERTY, K. D. The ecology of climate change and infectious diseases. **Ecology**, v. 90, n. 4, p. 888–900, 2009.

LAPORTA, G.Z.; LINTON, Y. M.; WILKERSON, R. C.; BERGO, E. S.; NAGAKI, S. S.; SANT'ANA, D. C. & SALLUM, M. A. M. Malaria vectors in South America: current and future scenarios. **Parasites & Vectors**, v. 8, p. 426, 2015.

LE PAPE, O.; BAULIER, L.; CLOAREC, A.; MARTIN, J.; LE LOC'H, F. & DESAUNAY, Y. Habitat suitability for juvenile common sole (*Solea solea*, L.) in the bay of Biscay (France): A quantitative description using indicators based on epibenthic fauna. **Journal of Sea Research**, v. 57, n. 2-3, p. 126–136, 2007.

LIRA-NORIEGA, A. & PETERSON, A. T. Range-wide ecological niche comparisons of parasite, hosts and dispersers in a vector-borne plant parasite system. **Journal of Biogeography**, v. 41, n. 9, p. 1664–1673, 2014.

LINHOSS, A. C. & SIEGERT, C. M. A comparison of five forest interception models using global sensitivity and uncertainty analysis. **Journal of Hydrology**, v. 538, p. 109–116, 2016.

LUO, H.; LI, K.; ZHANG, H.; GAN, P.; SHAHZAD, M.; Wu, X.; LAN, Y. & WANG, J. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in zoo and domestic animals in Jiangxi Province, China. **Parasite**, v. 27, n. 7, p. 1-3, 2017.

MANYANGADZE, T.; CHIMBARI, M. J.; GEBRESLASIE, M.; CECCATO, P. & MUKARATIRWA, S. Modelling the spatial and seasonal distribution of suitable habitats of schistosomiasis intermediate host snails using Maxent in Ndumo area, KwaZulu-Natal Province, South Africa. **Parasites & Vectors**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2016.

MCINTYRE, S.; RANGEL, E. F.; READY, P. D. & CARVALHO, B. M. Species-specific ecological niche modelling predicts different range contractions for *Lutzomyia intermedia* and a related vector of *Leishmania braziliensis* following climate change in South America. **Parasites & Vectors**, v. 10, n. 1, p. e10.1186, 2017.

MEERBURG, B. & KIJLSTRA, A. Changing climate - changing pathogens: *Toxoplasma gondii* in North-Western Europe. **Parasitology Research**, v. 105, p. 17-24, 2009.

MILLAR, P. R.; SOBREIRO, L. G.; BONNA, I. C. F. & AMENDOEIRA, M. R. R. A importância dos animais de produção na infecção por *Toxoplasma gondii* no Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 693-706, 2008.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D.G. & THE PRISMA GROUP. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses: The PRISMA Statement. **PLoS Med**, v. 6, n. 7, p. e1000097, 2009.

NICHOLS, M.; LORD, W.; HAYNIE, M.; BRENNAN, R.; JACKSON, V. & MONTERROSO, W. *Trypanosoma cruzi* in a Mexican free-tailed bat (*Tadarida brasiliensis*) in Oklahoma, USA. **Journal of Wildlife Diseases**, v. 55, n. 2, p. e10.7589, 2018.

OLIVEIRA, L. N.; COSTA-JUNIOR, L. M.; MELO, C. F.; RAMOS-SILVA, J. C.; BEVILAQUE, C. M. L.; AZEVEDO, S. S.; MURADIAN, V.; ARAÚJO, D. A. F. V.; DUBEY, J. P. & GENNARI, S. M. *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from the Northeast region of Brazil. **Journal of Parasitology**, v. 95, n. 1, p. 235-237, 2009.

ONUMA, S. S. M.; MELO, A. L. T.; KANTEK, D. L. Z.; CRAWSHAW-JUNIOR, P. G.; MORATO, R. G.; MAY-JÚNIOR, J. A.; PACHECO, T. A. & AGUIAR, D. M. Exposure of free-living jaguars to *Toxoplasma gondii*, *Neospora caninum* and *Sarcocystis neuroma* in the Brazilian Pantanal. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 23, n. 4, p. 547-553, 2014.

PALMER, B. S. Meta-analysis of three case controlled studies and na ecological study into the link between cryptogenic epilepsy and chronic toxoplasmosis infection. **Seizure**, v. 16, p. 657-663, 2007.

PAPES, M.; HARVEL, J. & ZANDEN, J. V. 2016. Using maximum entropy to predict the potential distribution of an invasive freshwater snail. **Freshwater Biology**, v. 61, p. 457-471, 2016.

PATRÃO, C.; ASSIS, J.; RUFINO, M.; SILVA, G.; JORDAENS, K.; BACKELJAU, T. & CASTILHO, R. H.abitat suitability modelling of four terrestrial slug species in the Iberian Peninsula (Arionidae: *Geomalacus* species). **Journal of Molluscan Studies**, v. 81, p. 427-434, 2015.

PATZ, J. A.; GRACZYK, T. K.; GELLERA, N. & VITTOR, A. Y. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. **International Journal for Parasitology**, v. 30, p. 1395-1405, 2000.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P. & SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231-259, 2006.

PIERRAT, B.; SAUCEDE, T.; FESTEAO, A. & DAVID, B. Antarctic, Sub-Antarctic and cold temperate echinoid database. **ZooKeys**, v. 204, p. 47–52, 2012(a).

PIERRAT, B.; SAUCEDE, T.; LAFFONT, R.; DE RIDDER, C.; FESTEAO, A. & DAVID, B. Large-scale distribution analysis of antartic echinoids using ecological niche modelling. **Marine Ecology Progress Series**, v. 463, p. 215-230, 2012(b).

PIMENTEL, J. S.; GENNARI, S. M.; DUBEY, J. P.; MARVULO, M. F. V.; VASCONCELLOS, S. A.; MORAES, Z. M.; SILVA, J. C. R. & NETO, J. E. Inquérito sorológico para toxoplasmose e leptospirose em mamíferos selvagens neotropicais do Zoológico de Aracajú, Sergipe. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 29, n. 12, p. 1009-1014, 2009.

RIBEIRO, M. J. M.; ROSA, M. H. F.; BRUHN, F. R. P.; GARCIA, A. D. M.; ROCHA, C. M. B. M. D. & GUIMARÃES, A. M. Seroepidemiology of *Sarcocystis neurona*, *Toxoplasma gondii* and *Neospora* spp. among horses in the south of the state of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 25, n. 2, p. 142-150, 2016.

RICHINI-PEREIRA, V. B.; MARSON, P. M.; SILVA, R. C. & LANGONI, H. Genotyping of *Toxoplasma gondii* and *Sarcocystis* spp. In road-killed wild mammals from the Central Western Region of the State São Paulo, Brazil. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 49, n. 5, p. 602-607, 2016.

RONDININI, C.; DI MARCO, M.; CHIOZZA, F.; SANTULLI, G.; BAISERO, D.; VISCONTI, P.; HOFFMANN, M.; SCHIPPER, J.; STUART, S.N.; TOGNETTI, M.F.; AMORI, J.; FALCUCCI, A.; MAIORANO, L. & BOITANI, L. Global habitat suitability models of terrestrial mammals. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 366, n. 1578, p. 2633–2641, 2011.

SAUPE, E. E.; HENDRICKS, J. R.; PETERSON, A. T.; LIBERMAN, B. S. Climate change and marine molluscs of the Western North Atlantic: future prospects and perils. **Journal of Biogeography**, v. 41, p. 1352–1366, 2014.

SILVA, R. C.; ZETUN, C. B.; BOSCO, S. M. G.; BAGAGLI, E.; ROSA, P. S. & LANGONI, H. 2008. *Toxoplasma gondii* and *Leptospira* spp. infection in free-ranging armadillos. **Veterinary Parasitology**, v. 157, p. 291-293, 2008.

SILVA, R. C.; MACHADO, G. P.; CRUVINEL, T. M. A.; CRUVINEL, C. A. & LANGONI, H. 2014. Detections of antibodies of *Toxoplasma gondii* in wild animals in Brazil. **Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Disease**, v. 20, p. 1-4, 2014.

SIMON, A.; POULIN, M. B.; ROUSSEAU, A. N. & OGDEN, N. H. Fate and transport of *Toxoplasma gondii* oocysts in seasonally snow covered watersheds: A conceptual framework from a melting snowpack to the Canadian Arctic Coasts. **International Journal Environmental Research Public Health**, v. 10, p. 994-1005, 2013.

SOR, R.; BOETS, P.; LEK, S. & GOETHALS, P. L. M. Spatio-temporal co-occurrence of alien and native molluscs: a modelling approach using physical-chemical predictors. **Aquatic Invasions**, v. 12, n. 2, p. 147-158, 2017.

STEPHEN, C.; HAINES, D.; BOLLINGER, T. & ATKINSON, K. Serologic evidence of *Toxoplasma* infection in cougars on Vancouver Island, British Columbia. **Canadian Veterinary Journal**, v. 37, n. 4, p. 241, 1996.

SWANNACK, T. M.; REIF, M. & SONIAT, T. M. A robust, spatially explicit model for identifying oyster restoration sites: case studies on the Atlantic and Gulf Coasts. **Journal of Shellfish Research**, v. 33, n. 2, p. 395–408, 2014.

TORRE, J. A. L.; RIVERO, M.; CAMACHO, G. & ÁLVAREZ-MÁRQUEZ, L. A. Assessing occupancy and habitat connectivity for Baird's tapir to establish conservation priorities in the Sierra Madre de Chiapas, Mexico. **Journal of Nature Conservation**, v. 26, p. e201710004, 2018.

VANWORMER, E.; MILLER, M. A.; CONRAD, P. A.; GRIGG, M. E.; REJMANEK, D.; CARPENTER, T. E. & MAZET, J. A. K. Using molecular epidemiology to track *Toxoplasma gondii* from terrestrial carnivores to marine hosts: Implications for public health and conservation. **PLOS Neglected Tropical Diseases**, v. 8, n. 5, p. 1-14, 2014.

VARASCHIN, M. S.; GUIMARÃES, A. M.; HIRSCH, C.; MESQUITA, L. P.; ABREU, C. C.; ROCHA, C. M. B. M.; WOUTERS, F. & MOREIRA, M. C. Fatores associados a soroprevalência de *Neospora caninum* e *Toxoplasma gondii* em rebanhos caprinos na região sul de Minas Gerais. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 53-58, 2011.

VAUDAUX, J. D.; MUCCIOLI, C.; JAMES, E. R.; SILVEIRA, C.; MAGARGAL, S. L.; JUNG, C.; DUBEY, J. P.; JONES, J. L.; DOYMAZ, M. Z.; BRUCKNER, D. A.; BELFORT, R.; HOLLAND, G. N. & GRIGG, M. E. Identification of an atypical strain of *Toxoplasma gondii* as the cause of a waterborne outbreak of toxoplasmosis in Santa Isabel do Ivaí, Brazil. **The Journal of Infectious Diseases**, v. 202, n. 8, p. 1226–1233, 2010.



VIÉ, J. C.; HILTON-TAYLOR, C. & STUART, S. N. (eds.), 2009. Wildlife in a Changing World – An Analysis of the 2008 IUCN Red List of Threatened Species. Gland, Switzerland: IUCN. 180p.

VITALIANO, S. N.; SOARES, H. S.; MINERVINO, A. H. H.; SANTOS, A. L. Q.; WERTHER, K.; MARVULO, M. F. V.; SIQUEIRA, D. B.; PENA, H. F. J.; SOARES, R. M.; SU, C. & GENNARI, S. M. Genetic characterization of *Toxoplasma gondii* from Brazilian wildlife revealed abundant new genotypes. **International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife**, v. 3, p. 276-288, 2014.

WALLACE, G. D. Intermediate and transport hosts in the natural history of *Toxoplasma gondii*. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 22, n. 4, p. 456-464, 1973.

WEBSTER, J. P. The effect of *Toxoplasma gondii* on animal behavior: Playing cat and mouse. **Schizophrenia Bulletin**, v. 33, n. 3, p. 752-756, 2007.

WIENS, J. A.; STRALBERG, D.; JONGSOMJIT, D.; HOWELL, C. A. & SNYDER, M. A. Niches, models, and climate change: Assessing the assumptions and uncertainties. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. Supplement 2, p. 19729–19736, 2009.

YANG, G. J. & BERGQUIST, R. Potential impact of climate change on schistosomiasis: a global assessment attempt. **Tropical Medicine and Infectious Disease**, v. 3, p. 117, 2018.

ZANIN, M.; TESSAROLO, G.; MACHADO, N. & ALBERNAZ, A. L. M. 2017. Climatically-mediated land-cover change impacts on Brazilian territory. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, p. 939-952, 2017.

## 4. CAPÍTULO II

### **Modelagem de nicho climático de *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae) associado a animais de produção e os potenciais riscos a saúde pública**

#### 4.1. INTRODUÇÃO

A toxoplasmose é uma doença causada por *Toxoplasma gondii* (Nicolle & Manceaux, 1908) (Apicomplexa, Sarcocystidae), um parasito heteroxeno com ampla distribuição geográfica (FIGUEIREDO *et al.*, 2001; INESS, 2010). Os felinos atuam como hospedeiros definitivos e são os únicos capazes de eliminar oocistos no ambiente (MILLAR *et al.*, 2008). Virtualmente, todos os animais de sangue quente podem atuar como hospedeiros intermediários de *T. gondii* e são infectados pelos oocistos presentes no ambiente (DUBEY, 2009a) ou por carne crua/mal passada contendo formas infectantes (RIBEIRO *et al.*, 2016). A toxoplasmose é uma doença amplamente distribuída, constituindo um importante problema de saúde pública e causa de importantes perdas econômicas em diversos países (DUBEY, 2009a; BRUGGMANN *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016).

Os animais de produção são fortemente afetados por esta parasitose (INESS, 2010). Muitos são assintomáticos, atuando apenas como reservatório da doença, como é o caso dos bovinos e equinos (ESTEBANREDONDO & INNES, 1997; DAGUER *et al.*, 2004; COSTA *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2016), outros porém, como os caprinos e ovinos, manifestam sinais clínicos da doença e sofrem efeitos severos desta parasitose (INNES, 2010).

No Brasil, estima-se que cerca de 50% dos ovinos criados em sistemas de produção estejam infectados com *T. gondii* (ANDRADE *et al.*, 2013; GUIMARÃES *et al.*, 2013). Esses animais são intimamente afetados por essa parasitose, principalmente no que tange à reprodução, visto que o grande número de abortos, natimortos, fetos mumificados, defeitos congênitos e nascimento de crias fracas, já foi registrado e ocorre com grande frequência

quando estes animais estão infectados com a toxoplasmose (ANDRADE *et al.*, 2013, GUIMARÃES *et al.*, 2013; GUO *et al.*, 2015; CONDOLEO *et al.*, 2016). Estes animais são potenciais vetores da toxoplasmose para os seres humanos, já que os cistos podem permanecer viáveis em sua musculatura e leite, sendo considerados de importância médica e tendo grande visibilidade para os programas de saúde pública (GUIMARÃES *et al.*, 2013; CAMPIGOTTO *et al.*, 2017). Além de gerarem prejuízos de bilhões de dólares ao ano para os sistemas de criação quando estão infectados pela toxoplasmose (CONDOLEO *et al.*, 2016).

Juntamente com os ovinos, os caprinos são os animais de produção mais intimamente afetados pela toxoplasmose (DUBEY, 1981; VARASCHIN *et al.*, 2011). Alguns aspectos reprodutivos ficam completamente comprometidos, sofrendo grandes alterações fetais e problemas de abortos, o que gera muitos prejuízo econômicos envolvendo animais de produção (VARASCHIN *et al.*, 2011). Pesquisas como a de CALDEIRA *et al.* (2016), verificaram surtos de abortos em caprinos na região centro-oeste do Brasil, sendo causados principalmente pelo grande número de infecção por *T. gondii*. Esses animais, além de sofrerem graves consequências na sua reprodução, no comportamento e nas características de bem-estar, ainda atuam como fonte de reservatório para os seres humanos através de carne e leite contendo cistos (VARASCHIN *et al.*, 2011; CALDEIRA *et al.*, 2016; LUO *et al.*, 2016; RÊGO *et al.*, 2016).

Os bovinos estão entre os animais de produção mais consumidos pela população brasileira (TENTER, 2000; ALBUQUERQUE *et al.*, 2005), e o grande número de animais infectados pela toxoplasmose pode ser um grande risco para os seres humanos. DUBEY (1983) verificou que formas de *T. gondii* permanecem viáveis em tecidos do animal, desde a fase de bezerro até a fase de abate. A grande ingestão de carne crua ou mal cozida ainda é um hábito comum da população brasileira, atuando como principal fonte de contaminação da toxoplasmose por bovinos (TENTER, 2000; SPAGNOL *et al.*, 2009). Apesar dos efeitos da toxoplasmose nos bovinos não serem muito bem estudados, e os animais serem vistos apenas

como reservatórios da doença para os seres humanos (ESTEBANREDONDO & INNES, 1997; DAGUER *et al.*, 2004), estes animais estão sujeitos aos sintomas e transtornos causados pela parasitose, como aborto fetal (CANADA *et al.*, 2002).

Os suínos, juntamente com os bovinos, são os animais mais consumidos no território brasileiro, representando a principal fonte de infecção para seres humanos (VELMURUGAN *et al.* 2009; MARQUES-SANTOS *et al.*, 2017). Além de apresentarem risco para a população humana, por atuarem como reservatório de cistos teciduais da toxoplasmose (TENTER *et al.*, 2000), também são severamente afetados pela parasitose, apresentando sintomas como hipertermia, anorexia e corrimento nasal. A infecção de suínos por *T. gondii* também gera perdas econômicas, em função dos problemas reprodutivos nesses animais (BEZERRA *et al.*, 2009; FLAUSINO *et al.*, 2010; MARQUES-SANTOS *et al.*, 2017).

O consumo de carne de equinos não é uma prática comum no Brasil, porém, em países da Europa e da Ásia, esse consumo é elevado, tornando-se uma rota de transmissão de doenças como a toxoplasmose (EVERS *et al.*, 2013). O Brasil é um dos principais exportadores de carne de equinos do mundo, ficando atrás somente da Argentina, Canadá e Polônia, respectivamente (EVERS *et al.*, 2013). Nesse sentido, é necessária a maior atenção quanto à infecções por *T. gondii* nestes animais, visto que a toxoplasmose, além de alterar o desempenho dos equinos, também provoca alterações nutricionais e físicas, prejudicando o bem-estar dos animais (CAZAROTTO *et al.*, 2016; BORGES *et al.*, 2017). A soroprevalência da toxoplasmose em equinos varia de acordo com a região em que estes animais são criados e o ponto de corte (EVERS *et al.*, 2013; CAZAROTTO *et al.*, 2016), mostrando-se a importância de conhecer a distribuição de *T. gondii* associado aos equinos, como uma fonte de controle e manutenção epidemiológica.

As aves que vivem em sistemas extensivos de produção são usadas como indicadores de contaminantes ambientais quando estão infectadas com a toxoplasmose (DUBEY *et al.*,

2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009), além disso, são amplamente usadas para extração de formas do *T.gondii* usadas em pesquisas de caracterização de linhagens genéticas, uma área que vem crescendo gradativamente nos últimos anos (DUBEY *et al.*, 2002; DUBEY *et al.*, 2003; DUBEY *et al.*, 2006; DUBEY *et al.*, 2007; DUBEY, 2009b; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Porém, quanto seu uso na transmissão da toxoplasmose para os seres humanos, pouco se sabe, assim como os efeitos desta parasitose sobre estes animais. O Brasil, sendo um dos maiores produtores e exportadores de carne de frango do mundo (LOPES *et al.*, 2016), merece uma atenção maior quanto a contaminação destes, visto que a transmissão para os seres humanos pode ser um fator de risco para os problemas de saúde pública (CASARTELLE-ALVES *et al.*, 2015, LOPES *et al.*, 2016).

Tendo em vista a grande importância da toxoplasmose associada aos animais de produção, como um fator preocupante para a saúde pública, torna-se de fundamental importância conhecer as áreas onde essa parasitose está presente, associada aos rebanhos de animais de corte.

Assim sendo, objetivou-se com esse trabalho: mapear a distribuição da toxoplasmose associada aos animais de produção no território brasileiro; realizar a modelagem de nicho climático destas associações, fazendo previsões futuras, com base no modelo da máxima entropia, para análise de possíveis áreas de risco para esta parasitose; oferecer modelos preditivos que possam ser usados em controle e manejo de fauna; proporcionar uma ferramenta para análises de locais adequados para investimentos de políticas públicas em saúde.

## **4.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.2.1. Registros de presença de toxoplasmose em animais de produção no Brasil**

#### **4.2.1.1. Fontes**

Para compilar registros da presença de *Toxoplasma gondii* associada a animais de produção no Brasil, foram pesquisadas as bases de dados on-line Scopus (Elsevier), Web of Science (Thomson Reuters), PubMed e Scielo (Scientific Electronic Library Online) para estudos relevantes realizados entre 01/01/1997 a 30/12/2017. A busca foi realizada no período de março de 2017 a setembro de 2018, utilizando os termos “*Toxoplasma gondii*” e “cattle”, “goat”, “sheep”, “swine”, “equine”, “chicken”. Todos os registros de presença de *T. gondii* associados à animais de produção no Brasil foram compilados em um banco de dados do software Microsoft Excel para posterior análise.

#### **4.2.1.2. Critérios de exclusão-inclusão**

Foram incluídos na análise apenas artigos originais, notas científicas e revisões. Não foram considerados livros, capítulos de livros, resumos publicados em anais de eventos e editoriais. Apenas artigos que mencionam infecção por *Toxoplasma gondii* em animais de produção no Brasil foram incluídos na análise. Não foram incluídos na análise os trabalhos que continham dados referentes à animais de companhia.

### **4.2.2. Modelagem de Nicho Climático**

#### **4.2.2.1. Preparação dos dados para modelagem**

As fontes bibliográficas que atenderão aos critérios de inclusão foram analisados para a obtenção dos dados sobre as localidades de ocorrência de *T. gondii* associadas aos hospedeiros. Os dados (somente registros de presença) foram georreferenciados em termos de coordenadas de longitude e latitude expressas em graus e em minutos, com o auxílio do software

Google Earth Pro.Ink. Registros de presença de *T. gondii* em animais de produção obtidos da literatura científica podem ser tendenciosos dados os padrões de pesquisa que favorecem locais mais próximos de centros de pesquisa e assentamentos humanos (considerando animais em cativeiro). Para mitigar possíveis disparidades de intensidade de amostragem entre diferentes regiões do Brasil, corrigimos o viés causado pela maior densidade de registros de ocorrência em determinadas áreas, criando uma grade de viés, que consistia em um fundo de células de ocorrência (presença/ ausência), baseado na probabilidade de ocorrência das espécies independentemente dos registros de ocorrência, diminuindo a importância das áreas com maior intensidade de amostragem. Essa correção foi feita no ambiente do Maxent.

#### **4.2.2.2. Variáveis Climáticas**

No banco de dados mundial WorldClim (<http://www.worldclim.org>) foram obtidas as variáveis bioclimáticas existentes para todas as regiões do globo. Foram utilizados dados climáticos históricos chamados nas bases de dados como “variáveis do presente” (1970-2000) e “variáveis do futuro” (até 2050), sendo que esta última apresenta previsões em diferentes perspectivas num cenário de mudanças climáticas. Em função disso, foram utilizados os cenários otimista (futuro 26\_50) e pessimista (futuro 85\_70), para poder melhor representar as previsões de mudanças futuras nas variáveis ambientais. Como as variáveis bioclimáticas obtidas no Worldclim são para o globo, e a região de estudo foi o território brasileiro, foi necessário recortar as variáveis apenas para o Brasil. Este processo foi feito utilizando-se o software Quantum gis 2.0, com a função de extração de máscaras, onde foram criadas camadas do tipo raster específicas para cada uma das variáveis bioclimáticas, utilizando-se a camada do Brasil. Muitas variáveis são correlacionadas, o que poderia causar um enviesamento na análise, para corrigir o problema da multicolinearidade, foi realizado um teste de correlação entre as variáveis bioclimáticas para verificar quais possuem alto grau de correlação e selecionar apenas as que melhor responderiam a distribuição de *T. gondii*. Foram consideradas correlacionadas as

variáveis que apresentaram valores de  $p$  acima de 0.90 ( $p > 0.90$ ) (Apêndice 1). Foram selecionadas doze variáveis bioclimáticas para o shape do Brasil, que são: Bio 1 (média de temperatura anual); Bio 2 (média de alcance de temperatura diurna); Bio 3 (Isotermalidade); Bio 5 (temperatura máxima do mês mais quente); Bio 7 [alcance anual de temperatura (Bio 5 e Bio 6)]; Bio 8 (média de temperatura do trimestre mais chuvoso); Bio 12 (precipitação anual); Bio 13 (precipitação do mês mais chuvoso); Bio 14 (precipitação do mês mais seco); Bio 15 (precipitação sazonal – coeficiente de variação); Bio 18 (precipitação do trimestre mais quente); Bio 19 (precipitação do trimestre mais frio).

#### **4.2.2.3. Modelagem**

Para a modelagem de nicho climático, escolhemos o algoritmo Maxent. O Maxent leva em consideração os dados de presença e ausência, computando uma provável distribuição dentro da área de estudo, que preenche as limitações derivadas das condições ambientais nos locais de presença atuais, e selecionando uma área com entropia máxima dentro da área de distribuição especificada (PHILLIPS *et al.*, 2006; ELITH *et al.*, 2011). Entre vários algoritmos de modelagem, os modelos gerados pelo Maxent têm apresentado um desempenho consistente quando usados para prever áreas de adequabilidade para as espécies, bem como prever alterações na distribuição potencial das espécies associadas a mudanças climáticas (ELITH *et al.*, 2006; ELITH *et al.*, 2011).

#### **4.2.2.4. Calibração e validação do modelo**

A validação do modelo foi implementada dentro do próprio Maxent. Foram criadas dez réplicas para cada uma das variáveis selecionadas e para a criação do modelo foi feita a média destas dez réplicas para evitar ruídos que o programa possa ter gerado durante alguma etapa do processo. Também foi selecionado, no próprio ambiente Maxent, a opção de geração de curvas de resposta para cada uma das variáveis individualmente e para as variáveis em



conjunto. A acurácia do modelo foi validada através do coeficiente de correlação e do método AUC (escore maior que 0,70,  $p < 0,05$ ). O modelo foi calibrado em um subconjunto aleatório de 70% dos dados disponíveis e avaliado nos 30% restantes. O modelo foi considerado aceitável quando apresentou valores de AUC superiores a 0,70.

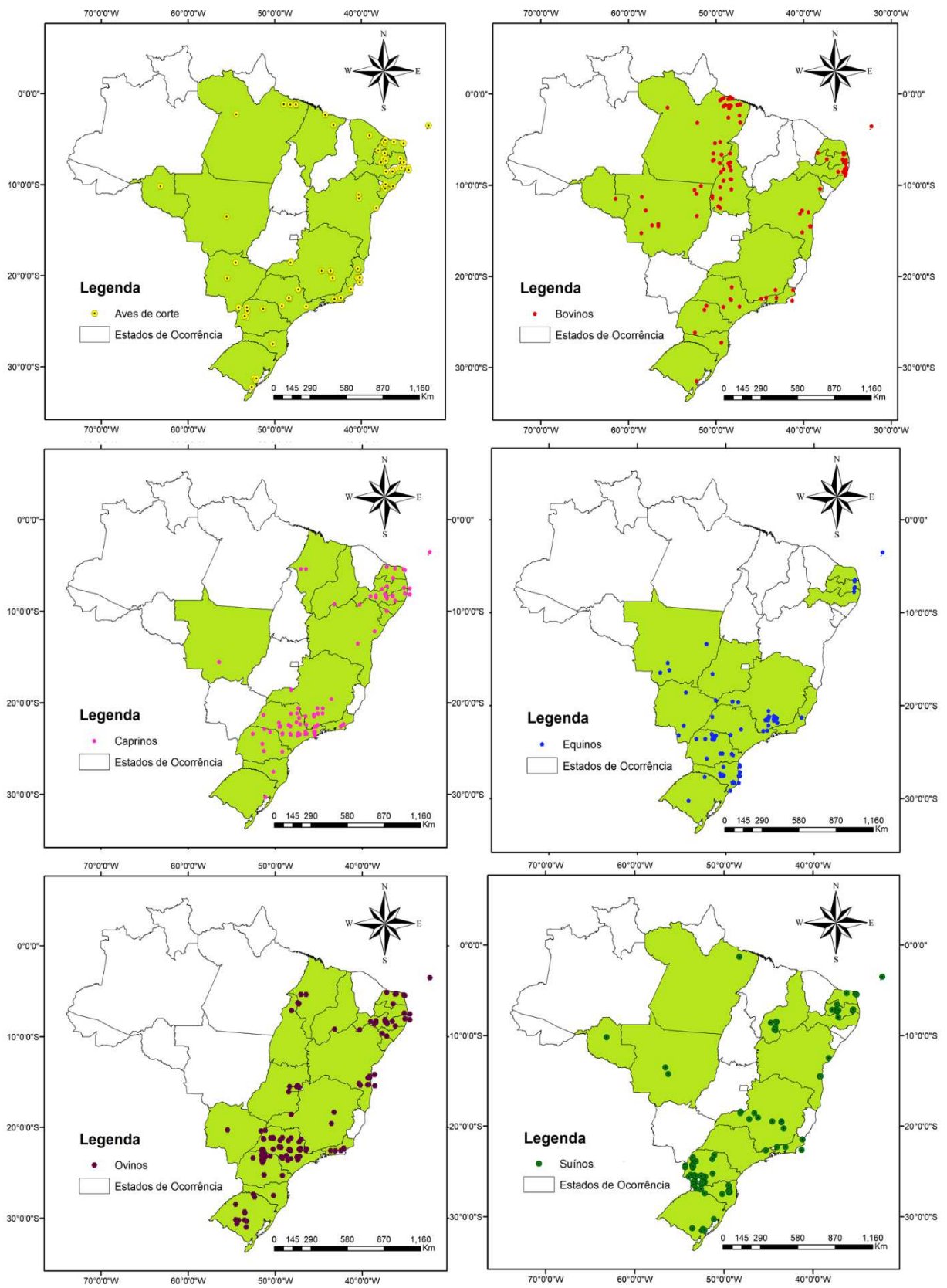
## 4.2. RESULTADOS

### 4.2.1. Registros de toxoplasmose em animais de produção no Brasil

Registros de *T. gondii* infectando animais de produção foram encontrados com uma alta frequência entre os diferentes grupos de animais de produção (tabela 2). A distribuição dos rebanhos não foi uniforme, variando a região para cada tipo de animal de produção atuando como hospedeiro da toxoplasmose (Figura 9).

**Tabela 2.** Número de trabalhos analisados para cada tipo de animal de produção usado como hospedeiro intermediário da toxoplasmose no território brasileiro.

Trabalhos	Hospedeiro					
	Bovinos	Caprinos	Equinos	Aves de corte	Ovinos	Suínos
Com localidade definida	153	106	116	110	167	119
Sem localidade definida	9	22	11	9	22	10
Total de trabalhos	162	128	127	119	189	129
Porcentagem	18.96%	14.98%	14.87%	13.93%	22.13%	15.10%



**Figura 9.** Distribuição dos registros de toxoplasmose associada aos animais de produção no território brasileiro.

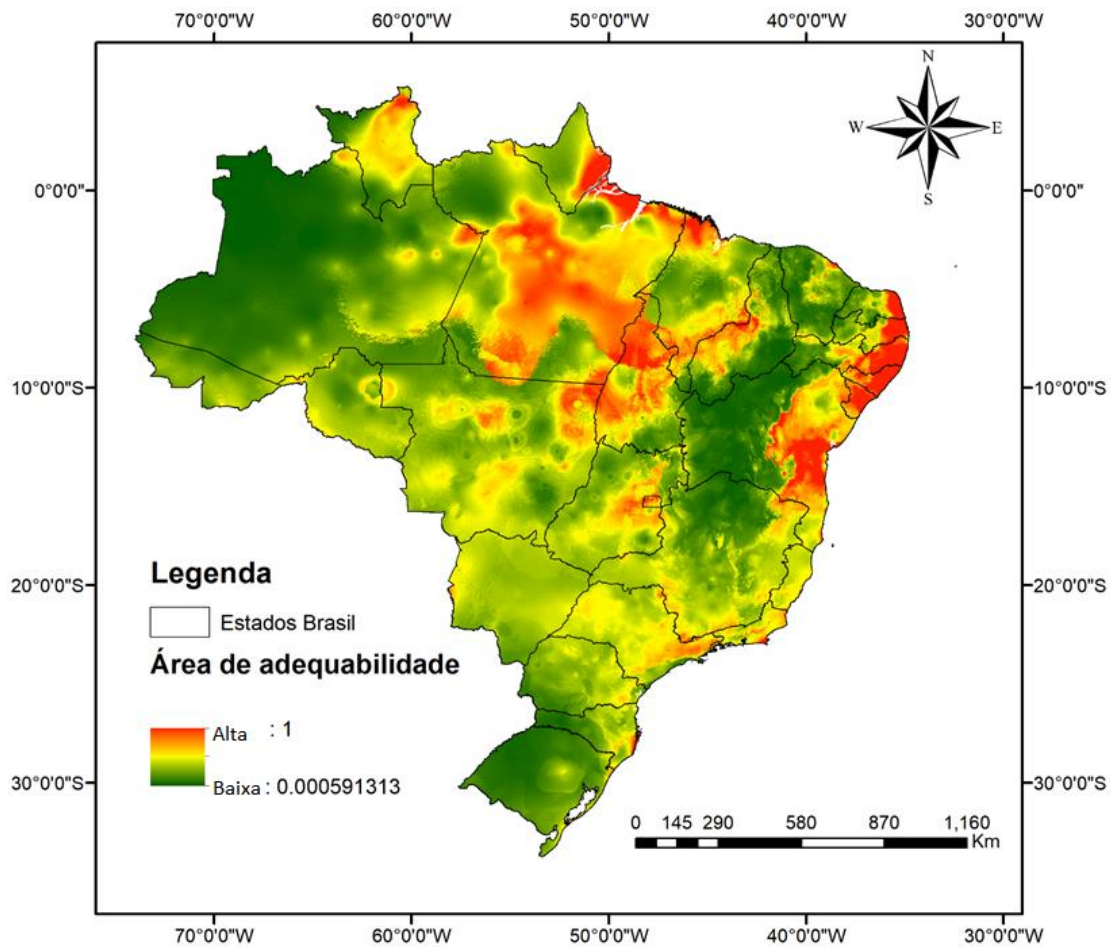
### 4.3.2. Modelagem de nicho climático

#### 4.2.1. Áreas de adequabilidade para *Toxoplasma gondii* associado a animais de produção

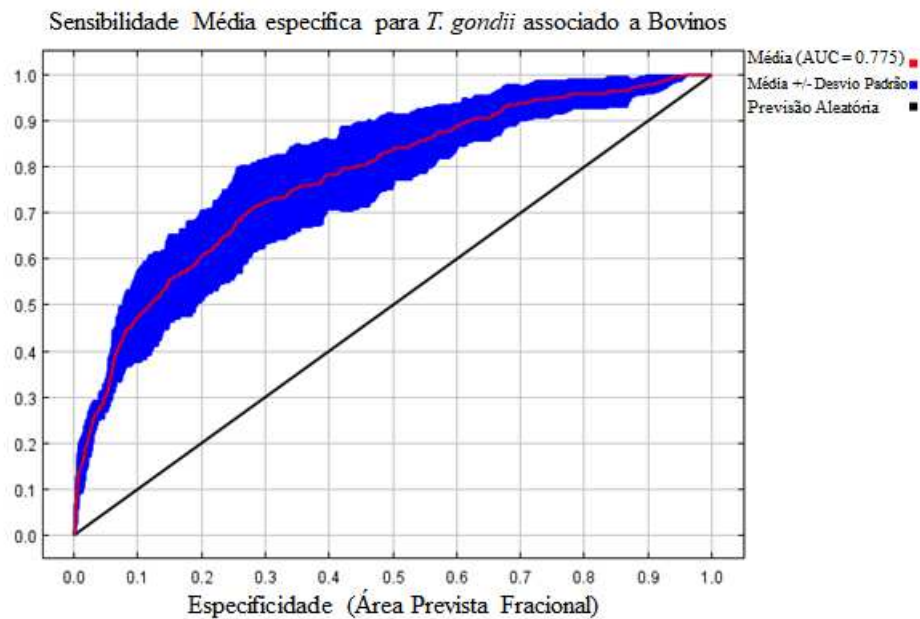
##### 4.2.1.1. *Toxoplasma gondii* associado a bovinos

O modelo de nicho climático para o presente, gerado pelo algoritmo Maxent evidenciou a presença de duas grandes áreas de alta adequabilidade para *T. gondii* associado a bovinos, uma ao longo da costa nordeste, incluindo os estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte e outra mais ao norte (Figura 10), incluindo os estados do Pará, Amapá e Tocantins, noroeste e sul do Maranhão, noroeste do Piauí e nordeste do Mato Grosso. Na região Norte, no estado do Amazonas, prevalece uma grande área de adequabilidade intermediária, com alguns *hotspots* isolados de alta adequabilidade ao norte e nordeste do estado. Em Roraima, prevalece uma grande área de adequabilidade intermediária, com um *hotspot* de alta adequabilidade ao norte do estado. No Acre, prevalece uma grande área de baixa adequabilidade. Na região Nordeste, no estado do Ceará prevalece uma área de baixa adequabilidade, com um *hotspot* de adequabilidade ao norte do estado. Uma faixa contínua de baixa adequabilidade se estende desde o Ceará, até o norte de Minas Gerais. Nas regiões Sul e Sudeste prevalecem áreas de adequabilidade intermediária, com alguns *hotspots* isolados de alta adequabilidade no Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina. O Rio Grande do Sul apresenta-se como área de baixa adequabilidade. Na região Centro-Oeste, prevalecem áreas de adequabilidade intermediária, com *hotspots* isolados de alta adequabilidade ao norte e nordeste do estado de Mato Grosso e na área central de Goiás.

A figura 11 apresenta o desempenho do modelo representado pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de 0,77  $\pm$  0,047 (p <0,05%).



**Figura 10.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a bovinos no território brasileiro. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent.

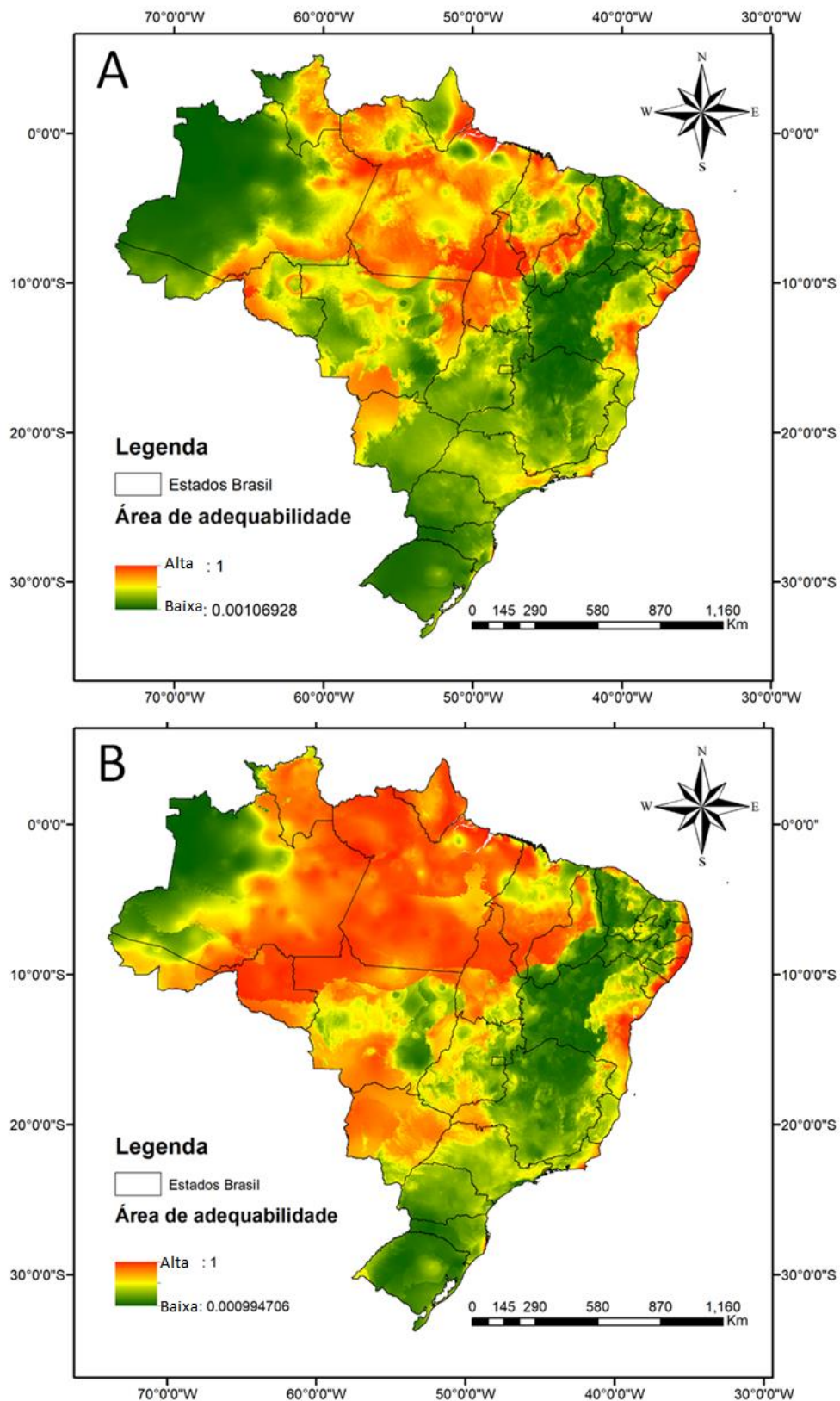


**Figura 11.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a bovinos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ).

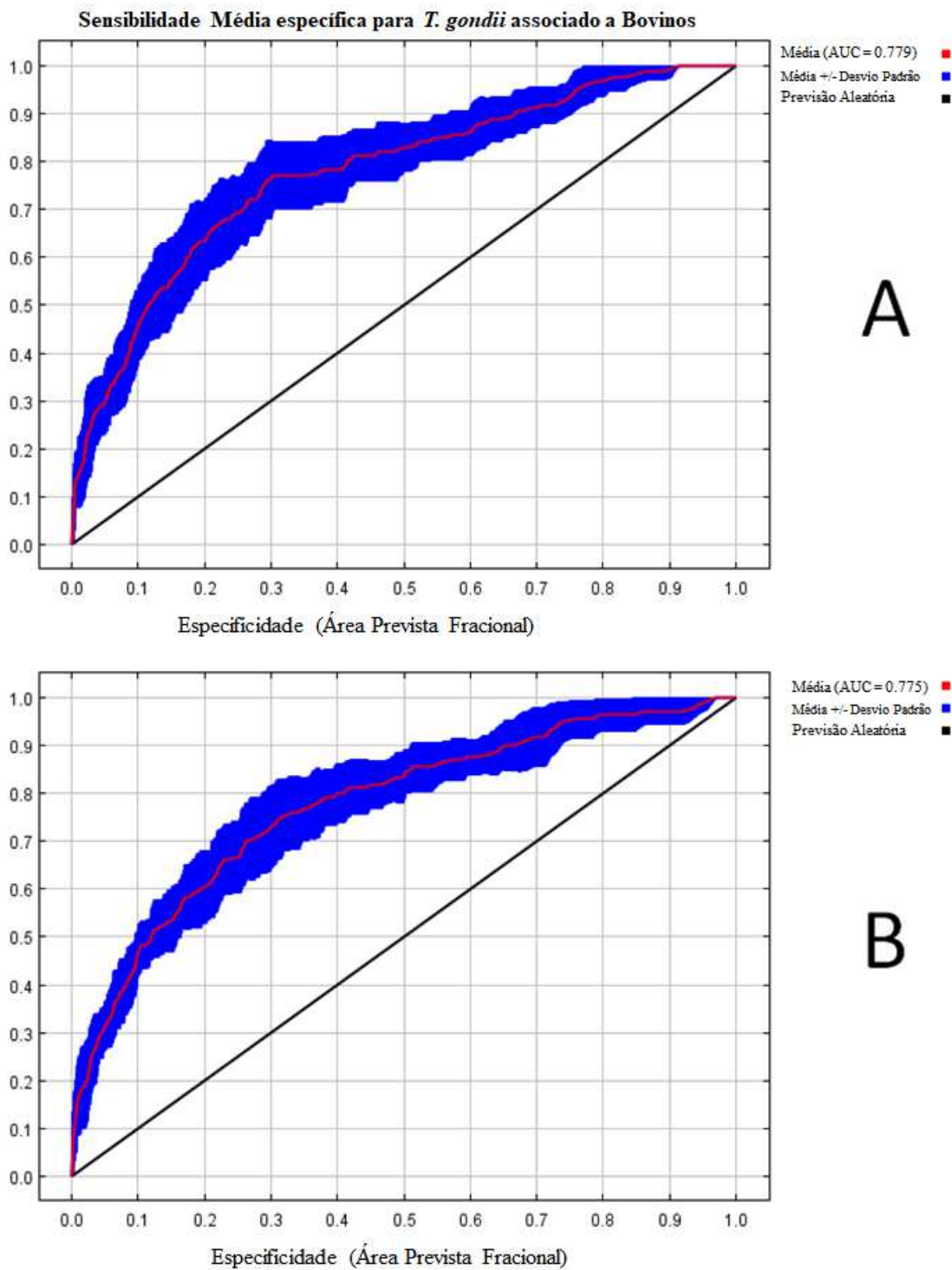
O modelo de nicho climático gerado a partir de um cenário otimista de mudanças climáticas (Figura 12 A), prevê a expansão da grande área de alta adequabilidade, que ocupa o Norte do Brasil, se estendendo para a região Nordeste e Centro-Oeste. O modelo prevê igualmente uma retração discreta da faixa de alta adequabilidade que se estende na costa da região Nordeste. Na região Centro-Oeste, o modelo prevê o surgimento de um *hotspot* de alta adequabilidade em uma área que inclui o sudeste do Mato Grosso e o noroeste do Mato Grosso do Sul, correspondendo ao bioma Pantanal, bem como um *hotspot* que inclui a área central do estado de Goiás e o nordeste do Mato Grosso. O modelo prevê, ainda, a retração das áreas de adequabilidade intermediária no leste do Brasil, evidenciando uma grande faixa que se estende do Nordeste ao Sul do país.

O modelo de nicho climático gerado a partir de um cenário pessimista de mudanças climáticas (Figura 12 B), prevê uma expansão ainda maior da grande área de alta adequabilidade ao norte do Brasil, que passa a ocupar quase toda a região Norte e Região Centro-Oeste.

A Figura 13 apresenta o desempenho do modelo baseado nos cenários otimista e pessimista de mudanças climáticas, representados pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,77 \pm 0,036$  ( $p < 0,05\%$ ) e  $0,77 \pm 0,038$  ( $p < 0,05\%$ ), respectivamente.



**Figura 12.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a bovinos, no Brasil, em dois cenários de mudanças climáticas. A. Projeção de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeção de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.



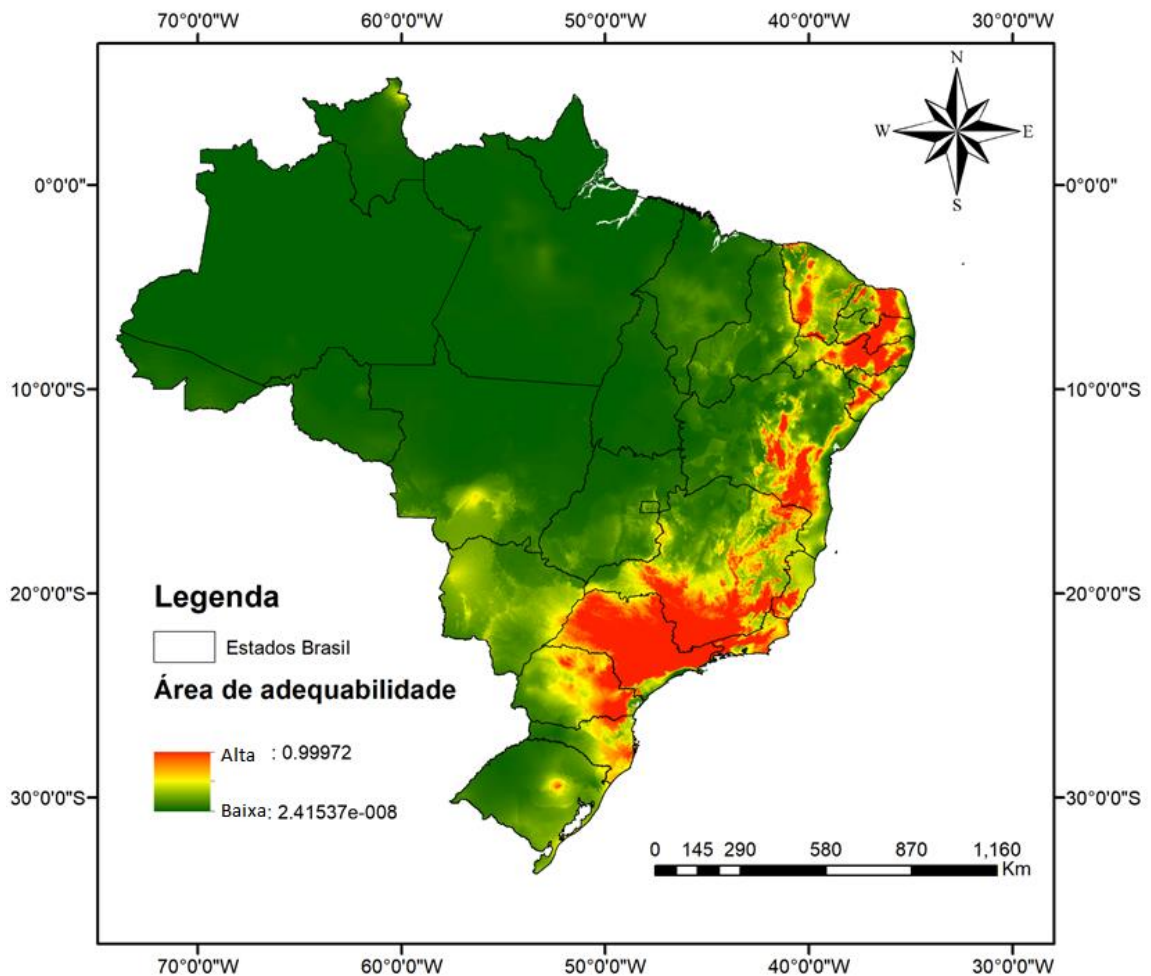
**Figura 13.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a bovinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent.



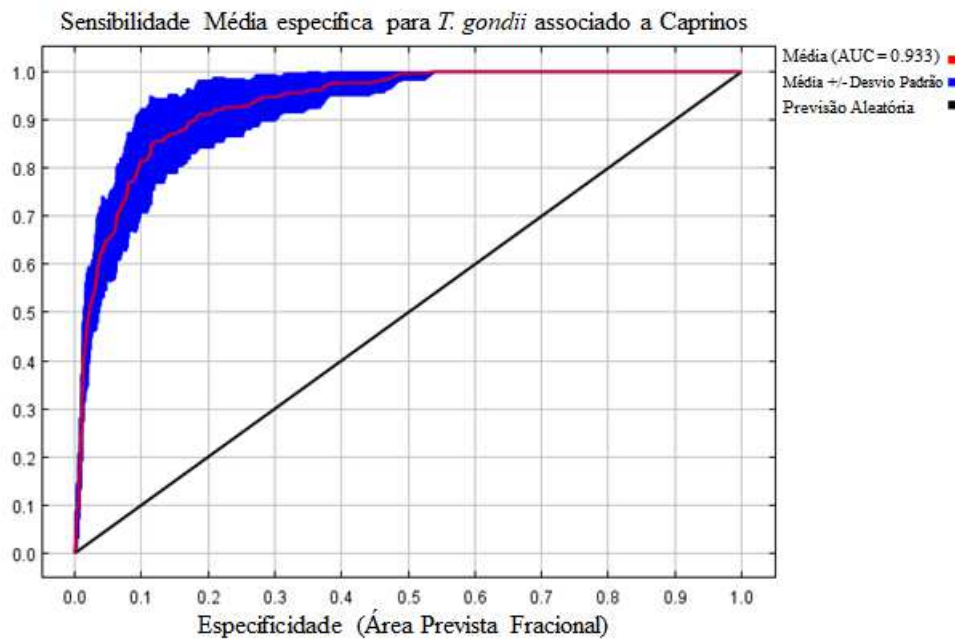
#### 4.2.1.2. *Toxoplasma gondii* associado a caprinos

O modelo de nicho climático para o presente (Figura 14), evidencia a presença de áreas de alta adequabilidade, em uma faixa quase contínua na costa leste e parte do sul do Brasil. Nessa faixa, um grande *hotspot* de alta adequabilidade inclui os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, sul de Minas Gerais e o leste dos estados do Paraná e Santa Catarina. Na região Norte e Centro-Oeste, prevalecem áreas de baixa adequabilidade.

A figura 15 apresenta o desempenho do modelo representado pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,93 \pm 0,022$  ( $p < 0,05\%$ ).

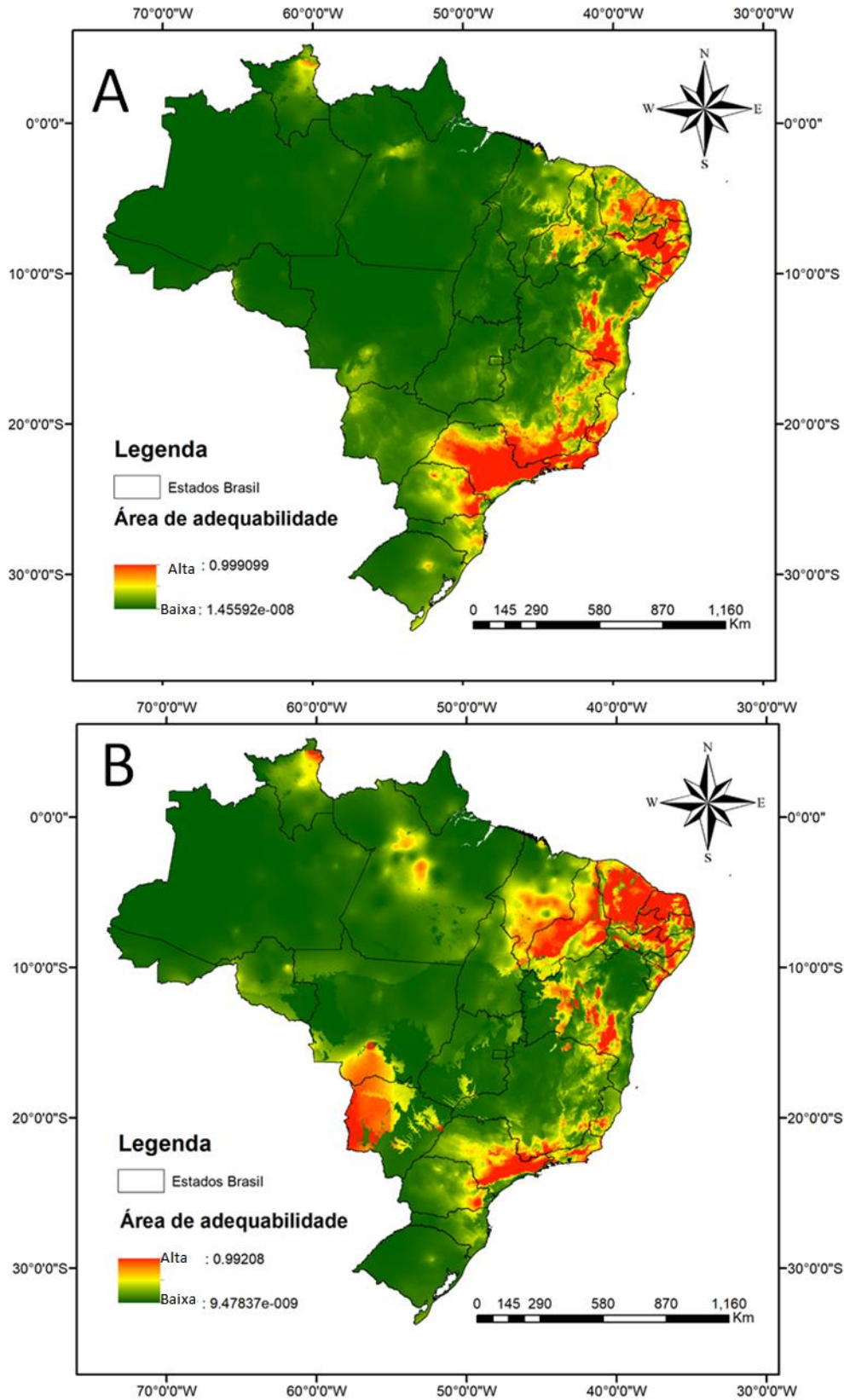


**Figura 14.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a caprinos no território brasileiro. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent.



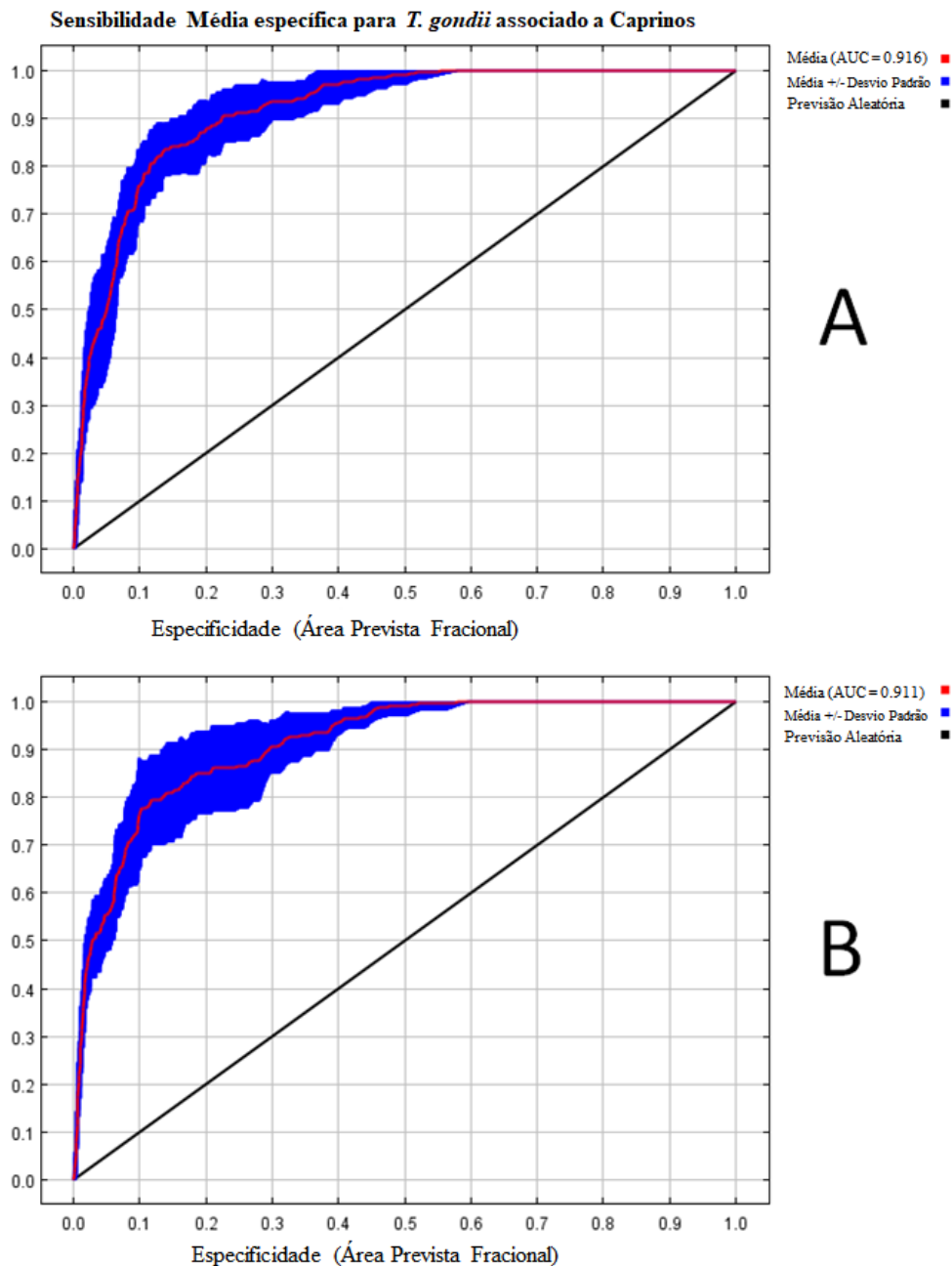
**Figura 15.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a caprinos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ).

Em um cenário futuro de mudanças climáticas, com uma perspectiva otimista (Figura 16 A), as áreas de adequabilidade alta para ocorrência da toxoplasmose associada a caprinos tendem a retrair na região Sudeste e expandir em algumas áreas da região Nordeste. Todas as áreas de baixa adequabilidade tendem a se manter, à exceção de uma pequena área no estado de Roraima, na região Norte do país, que apresentou uma mancha de adequabilidade intermediária e de uma área no estado do Pará, que também apresentou uma pequena mancha de área de adequabilidade intermediária. Já em um cenário pessimista de mudanças climáticas (Figura 16 B), o modelo mostrou uma retração substancial na região sudeste e uma expansão na região Nordeste e Centro-Oeste, mais especificamente no pantanal matogrossense. A região Norte apresenta-se como área de baixa adequabilidade, com pequenas manchas no estado de Roraima e Pará apresentando-se como áreas de alta adequabilidade.



**Figura 16.** Distribuição potencial de *T. gondii* associada a caprinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.

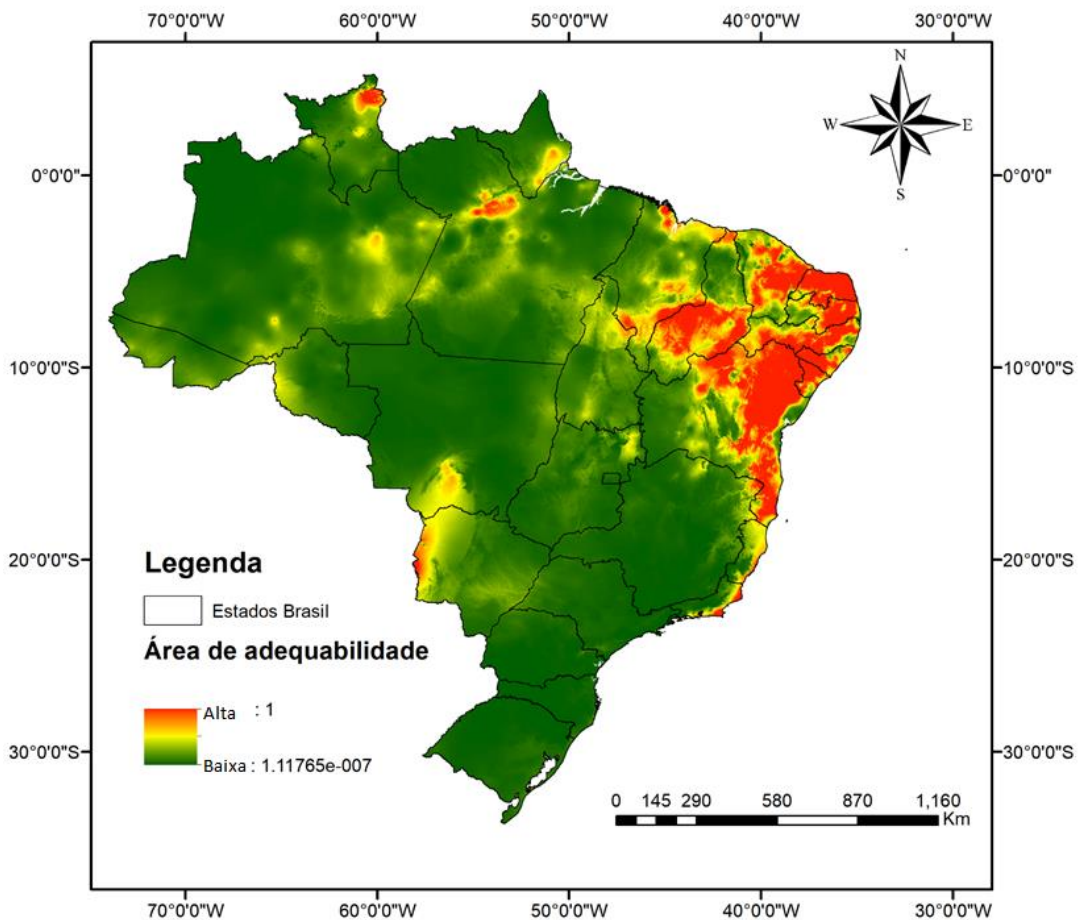
A Figura 17 apresenta o desempenho do modelo baseado nos cenários otimista (Figura 17 A) e pessimista (Figura 17 B), representados pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,91 \pm 0,023$  ( $p < 0,05\%$ ) e  $0,91 \pm 0,026$  ( $p < 0,05\%$ ), respectivamente.



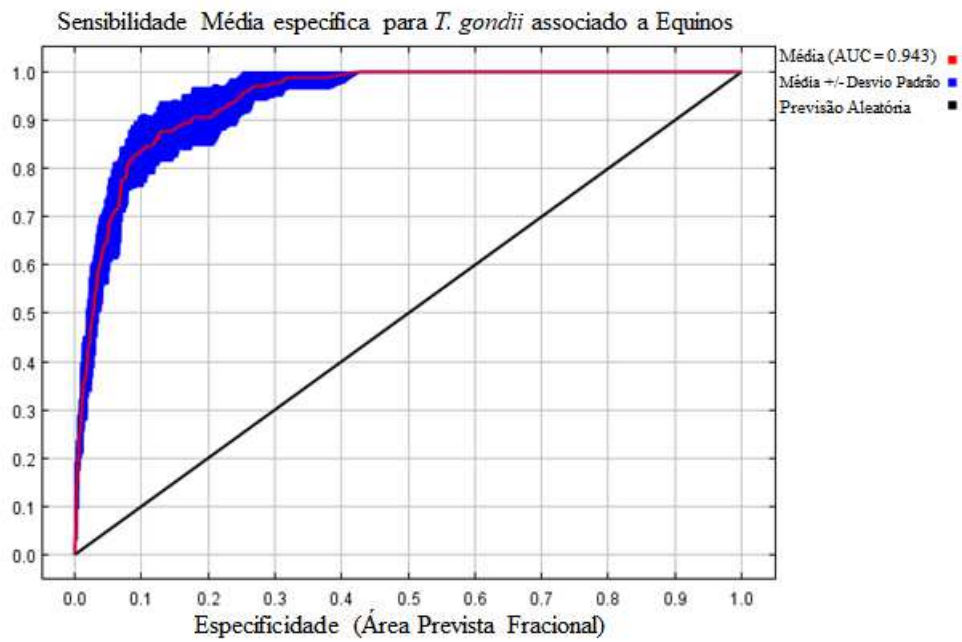
**Figura 17.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a caprinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent.

#### 4.2.1.3. *Toxoplasma gondii* associado a equinos

O modelo de nicho climático para o presente (Figura 18), gerado pelo algoritmo Maxent evidencia um grande *hotspot* de alta adequabilidade na região Nordeste. Nas demais regiões, predominam áreas de baixa adequabilidade, com excessão de algumas áreas isoladas de alta adequabilidade na região Centro-Oeste, no sul do Mato Grosso e sudoeste do Mato Grosso do Sul, correspondendo ao bioma Pantanal. Na região Norte, no norte do Pará, Sul do Amapá e norte de Roraima e, na região Sudeste, na área costeira do Espírito Santo e Rio de Janeiro. A figura 19 apresenta o desempenho do modelo representado pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,94 \pm 0,011$  ( $p < 0,05\%$ ).

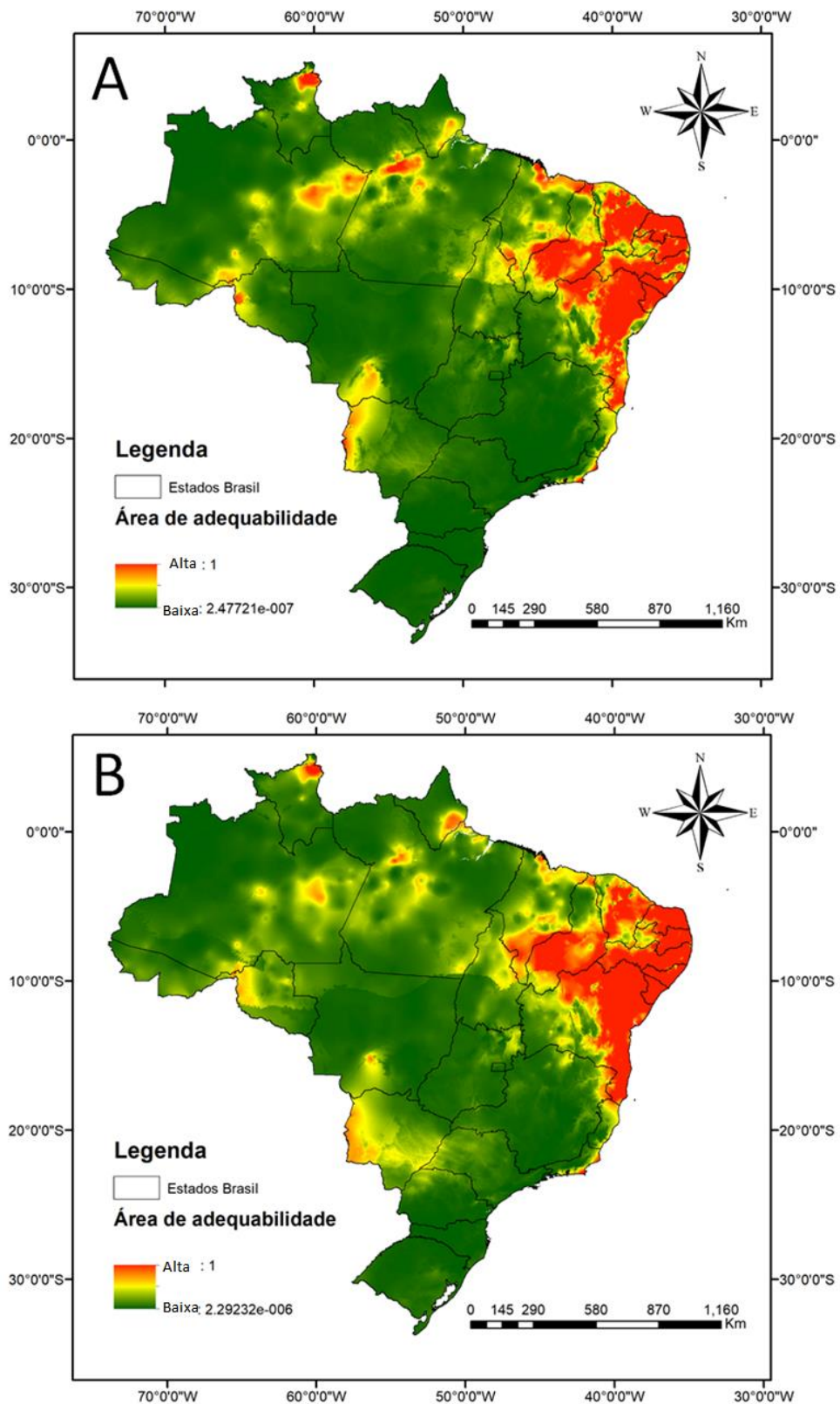


**Figura 18.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a equinos no território brasileiro. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent.



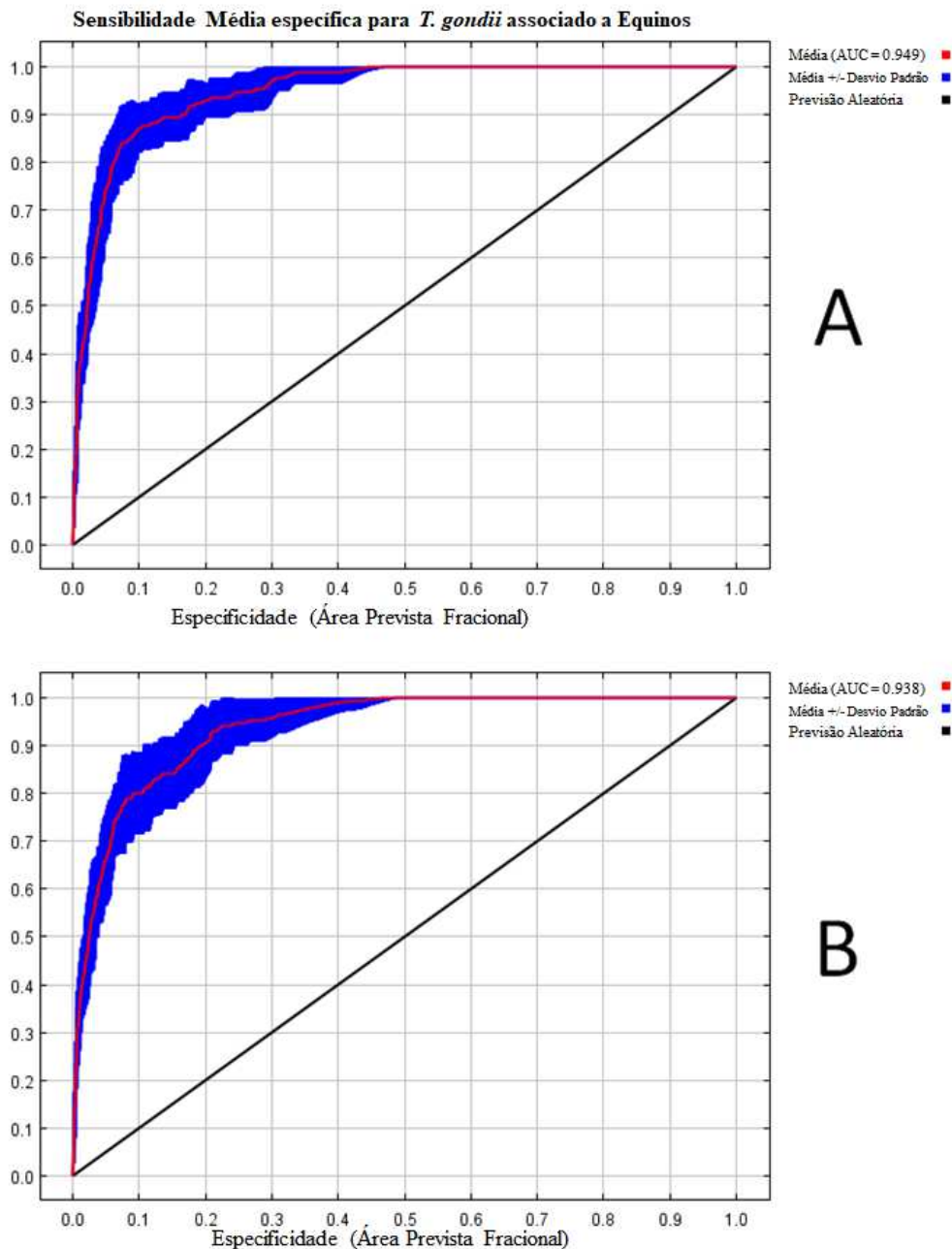
**Figura 19.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a equinos seguindo-se os critérios de validação ( $p > 0.70$ ).

Ambos os cenários de mudanças climáticas (Figura 20 A e B), mostram mudanças discretas no *hotspot* de alta adequabilidade na região Nordeste, com a expansão ou retração da área em certos estados. O modelo também evidencia o surgimento de novos *hotspots* de alta adequabilidade no Amazonas e Rondônia, bem como a expansão da área de adequabilidade intermediária na Região Centro-Oeste, no Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.



**Figura 20.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a equinos no Brasil, em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.

A Figura 21 apresenta o desempenho do modelo baseado nos cenários otimistas (Figura 21 A) e pessimistas (Figura 21 B), representados pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,94 \pm 0,016$  ( $p < 0,05\%$ ) e  $0,93 \pm 0,021$  ( $p < 0,05\%$ ), respectivamente.

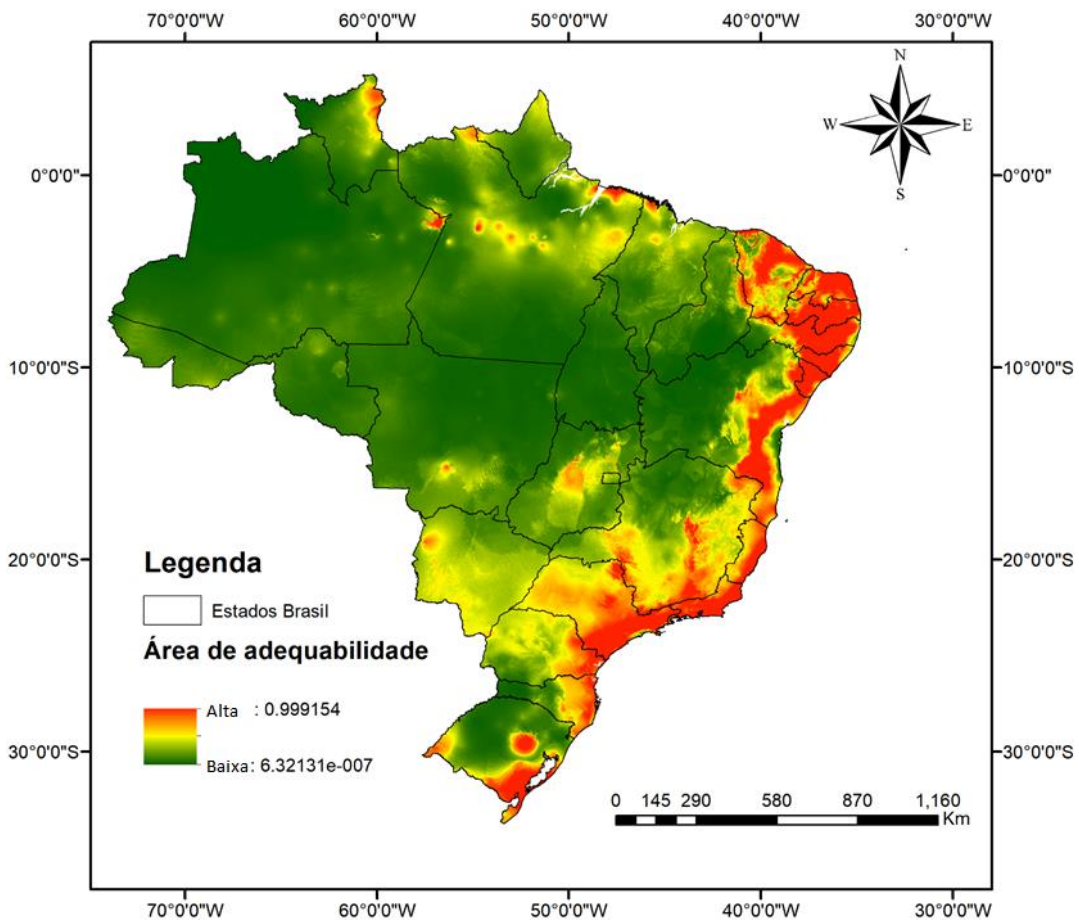


**Figura 21.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a equinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent.



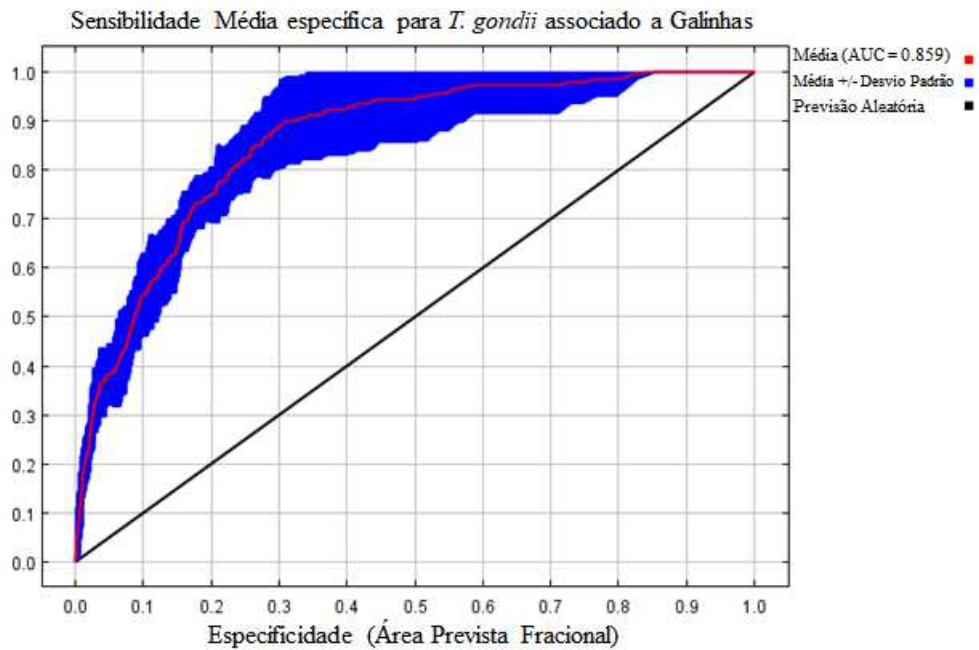
#### 4.2.1.4. *Toxoplasma gondii* associado a aves de Corte

O modelo de nicho climático para o presente, gerado pelo Maxent, evidencia a presença de um extenso *hotspot* de alta adequabilidade em uma faixa contínua na costa leste do Brasil. O modelo mostra, ainda, a presença de pequenos *hotspots* isolados de alta adequabilidade, na região Centro-Oeste, no sul do Mato Grosso, noroeste do Mato Grosso do Sul e região central de Goiás, bem como na região Norte, em Roraima, Pará, Amazonas e Maranhão. O modelo mostra uma grande área de adequabilidade intermediária ocupando o Mato Grosso do Sul, Paraná, Santo Catarina, São Paulo e Minas Gerais. Na Região Norte, no norte da região Centro-Oeste e no interior da região Nordeste, predominam as áreas de baixa adequabilidade.



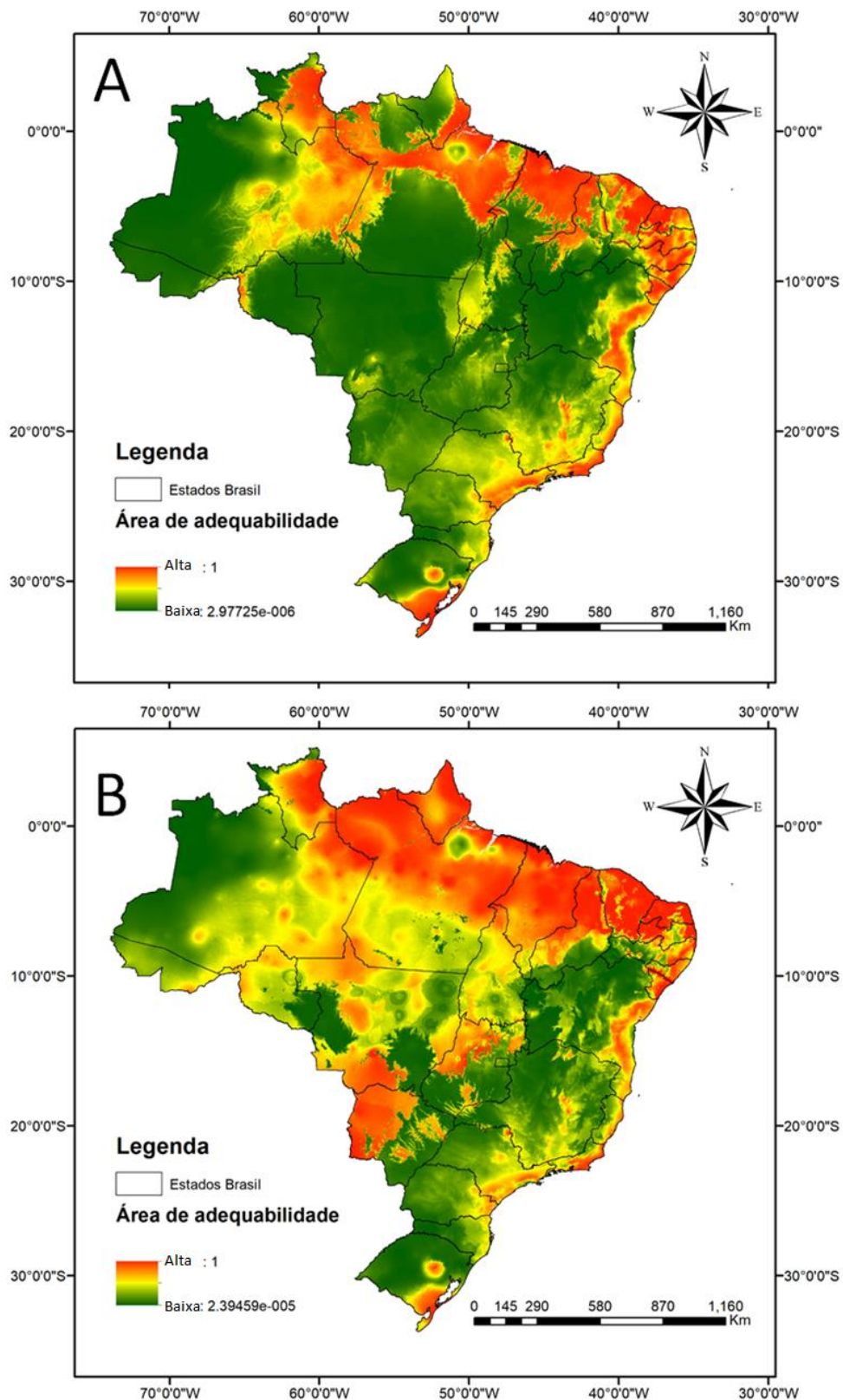
**Figura 22.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado à aves de corte no Brasil. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent.

A figura 23 apresenta o desempenho do modelo representado pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de 0,85  $\pm$  0,049 (p < 0,05%).



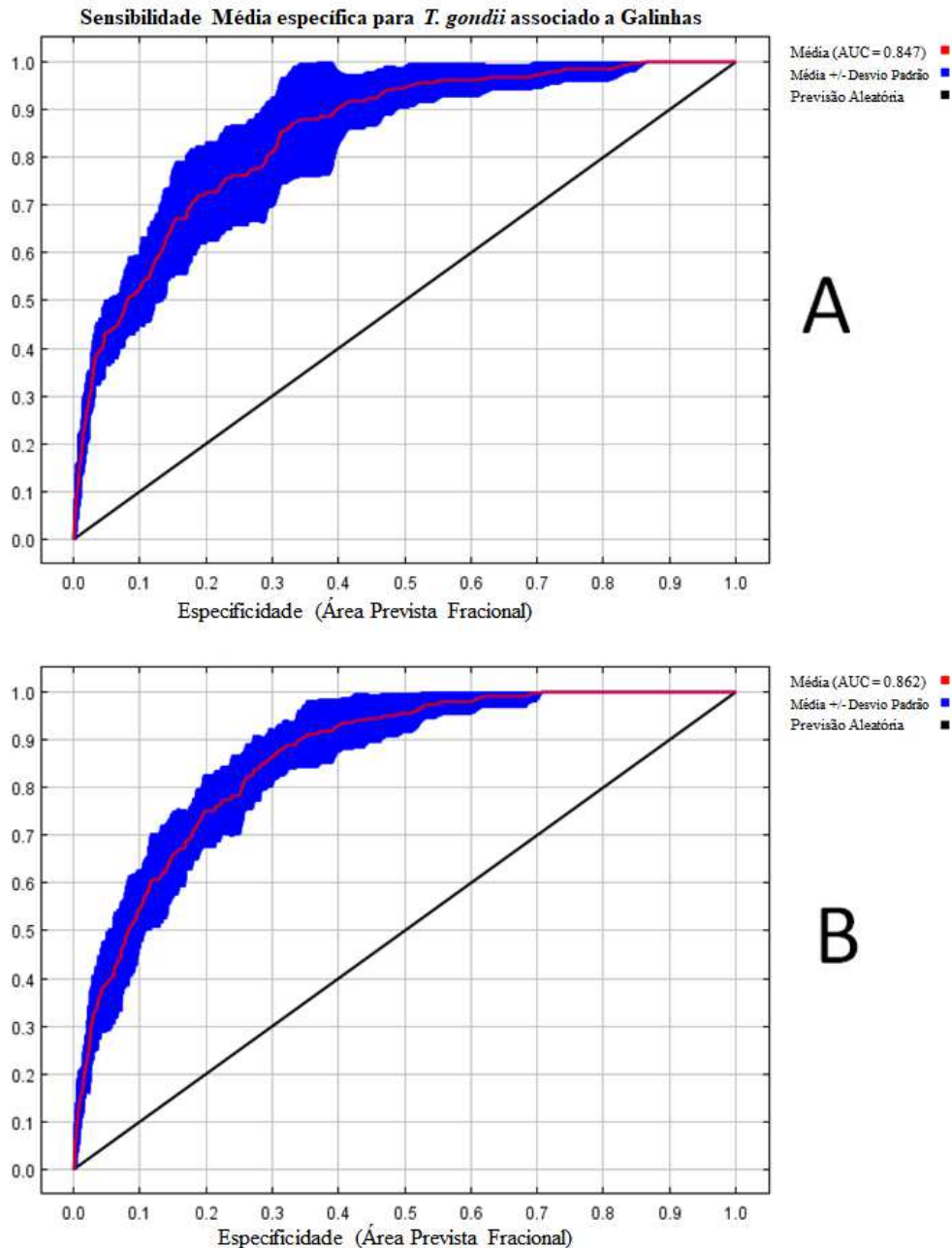
**Figura 23.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a aves de corte seguindo-se os critérios de validação (p > 0.70).

Em ambos os cenários de mudanças climáticas, observa-se alterações substanciais nas áreas de adequabilidade para toxoplasmose associada a aves de corte, havendo uma expansão para as regiões Norte e Nordeste e uma retração na região Sudeste (Figura 24). As áreas no Sul que apresentam baixa adequabilidade permanecerão com estas mesmas características, havendo pequeno *hotspot* de alta adequabilidade no estado do Rio Grande do Sul. Em um cenário mais otimista (Figura 24 A), a região centro-oeste tende a se apresentar como uma área de baixa adequabilidade. Já em um cenário pessimista (Figura 24 B), as áreas de alta adequabilidade ao Norte do país, terão uma extensão maior quando comparadas ao cenário otimista, e a região do pantanal matogrossense, no Centro-oeste brasileiro, tende a se tornar área de alta adequabilidade.



**Figura 24.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a aves de corte no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.

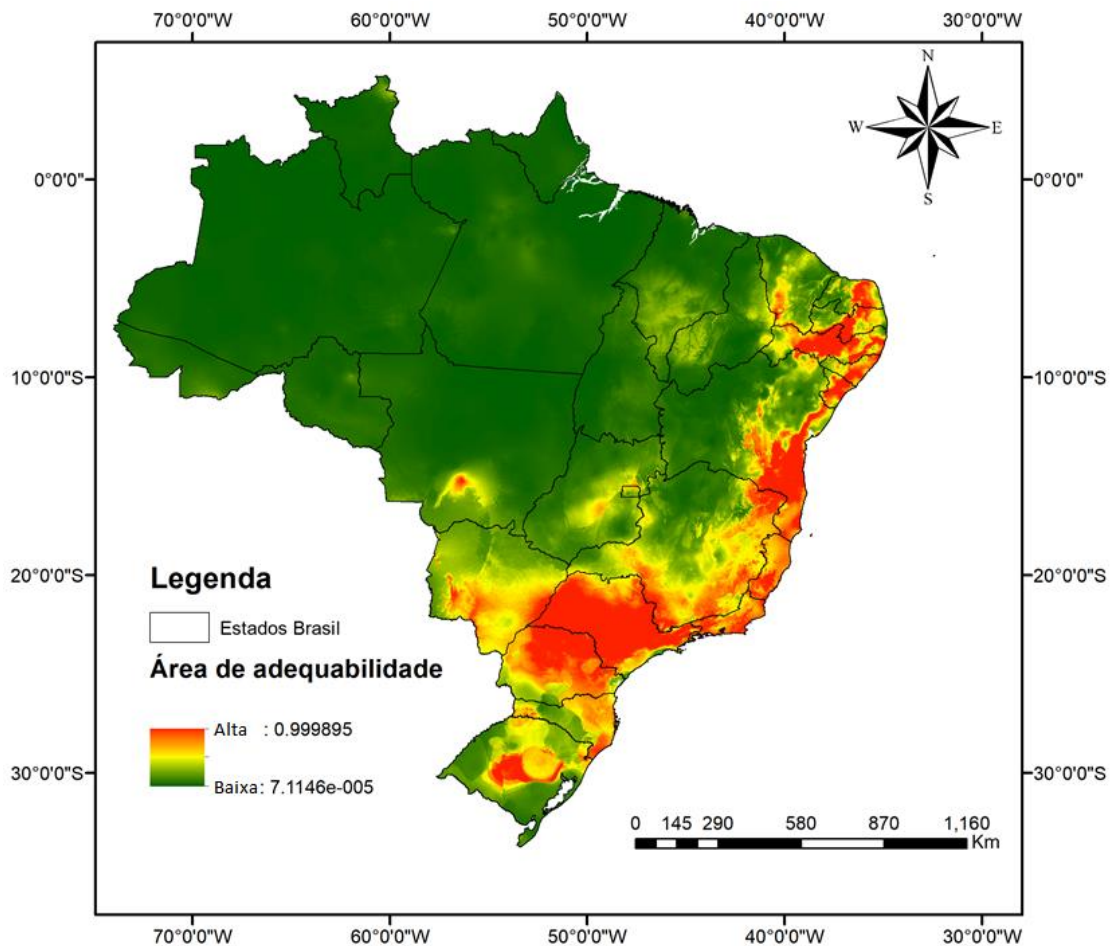
A Figura 25 apresenta o desempenho do modelo baseado nos cenários otimistas (Figura 25 A) e pessimistas (Figura 25 B), representados pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,84 \pm 0,043$  ( $p < 0,05\%$ ) e  $0,86 \pm 0,030$  ( $p < 0,05\%$ ), respectivamente.



**Figura 25.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a aves de corte no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent.

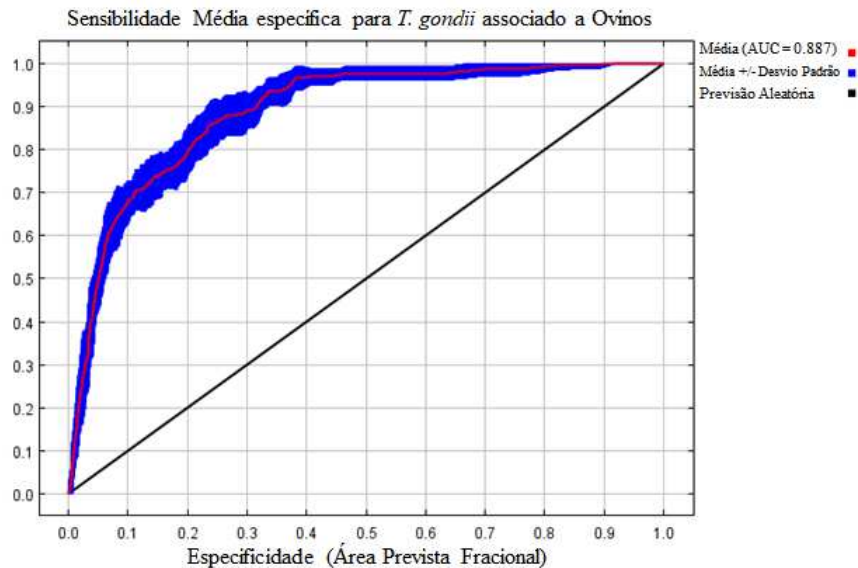
#### 4.2.1.5. *Toxoplasma gondii* associados a ovinos

O modelo gerado pelo algoritmo Maxent, mostra a região Sul, Sudeste e costa do Nordeste, como áreas de adequabilidade alta para ocorrência de *T. gondii* associado a ovinos no Brasil (Figura 26). A região Norte apresenta-se como área de baixa adequabilidade, enquanto a região Centro-oeste apresenta-se predominantemente como área de adequabilidade intermediária, com excessão do estado do Mato Grosso. No interior da região Nordeste, predominam áreas de baixa adequabilidade.



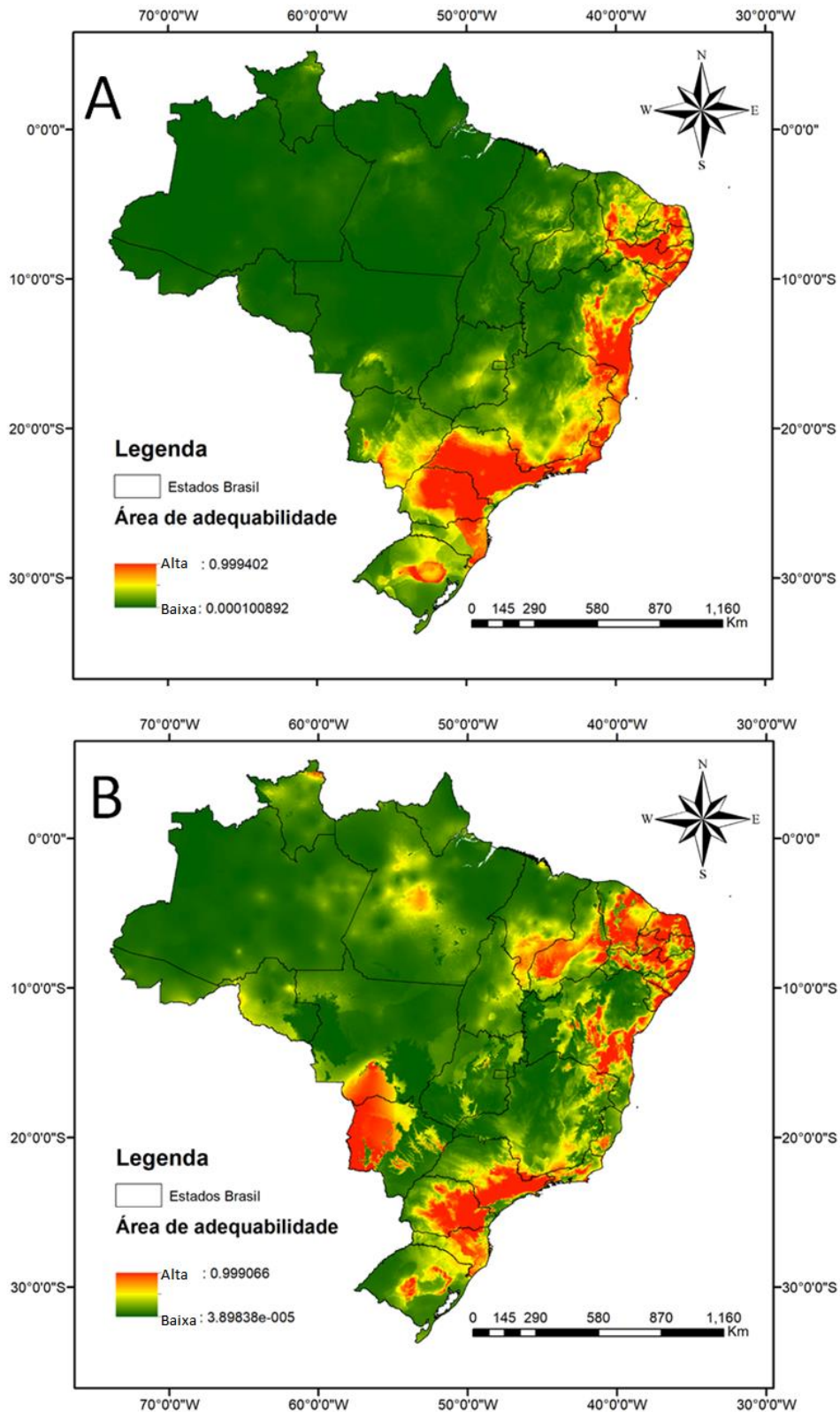
**Figura 26.** Áreas de adequabilidade para *Toxoplasma gondii* associado a ovinos no território brasileiro (nicho fundamental). Modelo obtido pelo algoritmo Maxent.

A figura 27 apresenta o desempenho do modelo representado pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de 0,88  $\pm$  0,016 (p < 0,05%).



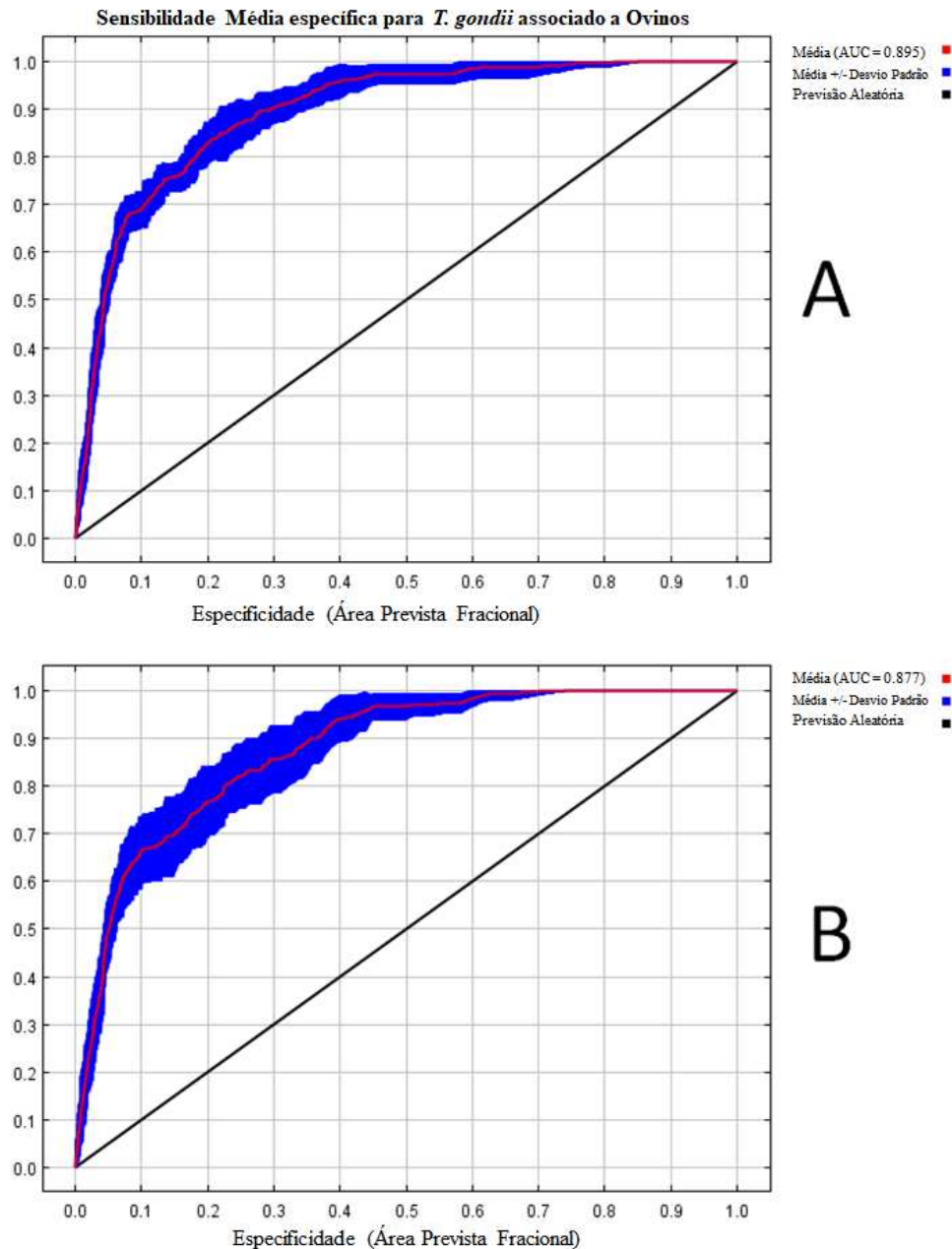
**Figura 27.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a ovinos seguindo-se os critérios de validação (p>0.70).

Em um cenário mais otimista de mudanças climáticas (Figura 28 A), as áreas de adequabilidade alta tendem a se manter na região costeira das regiões Nordeste, Sudeste e Sul, com pequenas áreas de retração na região Sul e no estado de Minas Gerais. Na região Norte predominam áreas de baixa adequabilidade, enquanto o Centro-Oeste apresenta uma retração das áreas de adequabilidade intermediária, passando a predominar áreas de baixa adequabilidade em quase toda sua extensão. Em um cenário mais pessimista (Figura 28 B), observa-se uma retração substancial nas áreas de alta adequabilidade nas regiões Sudeste e Nordeste. A região Sul não sofre muitas alterações, enquanto a região Centro-Oeste aparece como área de adequabilidade alta por quase toda extensão do pantanal matogrossense. O modelo prevê o surgimento de algumas manchas de adequabilidade intermediária na região Norte, nos estados de Rondônia, Roraima, Pará e Tocantins. O modelo também prevê, o surgimento de alguns *hotspots* isolados de de alta adequabilidade no interior da região Nordeste.



**Figura 28.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a ovinos, no Brasil, em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.

A Figura 29 apresenta o desempenho do modelo baseado nos cenários otimistas (Figura 29 A) e pessimistas (Figura 29 B), representados pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,89 \pm 0,013$  ( $p < 0,05\%$ ) e  $0,87 \pm 0,027$  ( $p < 0,05\%$ ), respectivamente.

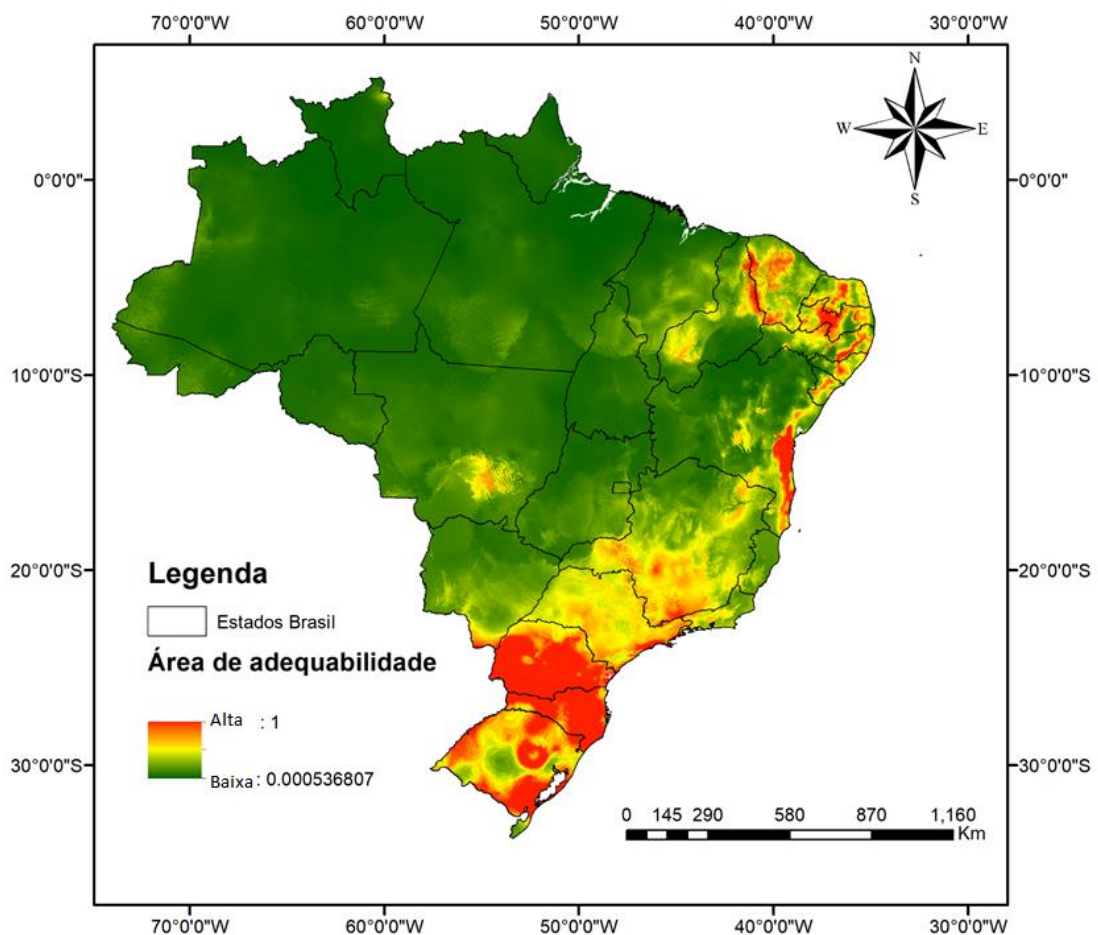


**Figura 29.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a ovinos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent.



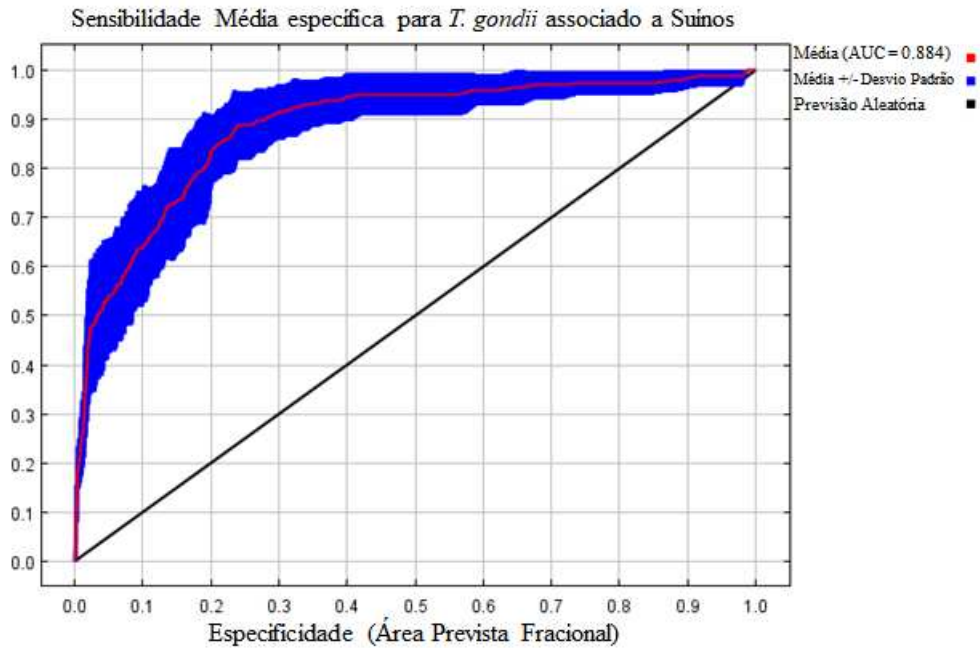
#### 4.2.1.6. *Toxoplasma gondii* associado a suínos

O modelo de nicho climático para o presente, gerado pelo Maxent para *Toxoplasma gondii* associado a suínos, evidencia a presença de um grande hotspot de alta adequabilidade na região Sul, bem como pequenos *hotspots* de alta adequabilidade em toda a região costeira do Nordeste (Figura 30). Na região Sudeste, predominam áreas de adequabilidade intermediária, particularmente no estado de São Paulo. A região Norte aparece como uma área de baixa adequabilidade, assim como a região Centro-oeste. Nesta última, algumas pequenas áreas se distribuíram como manchas de alta adequabilidade nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. O interior da região Nordeste também apresenta, em regiões específicas, áreas de adequabilidade intermediária para *T. gondii* associado a suínos.



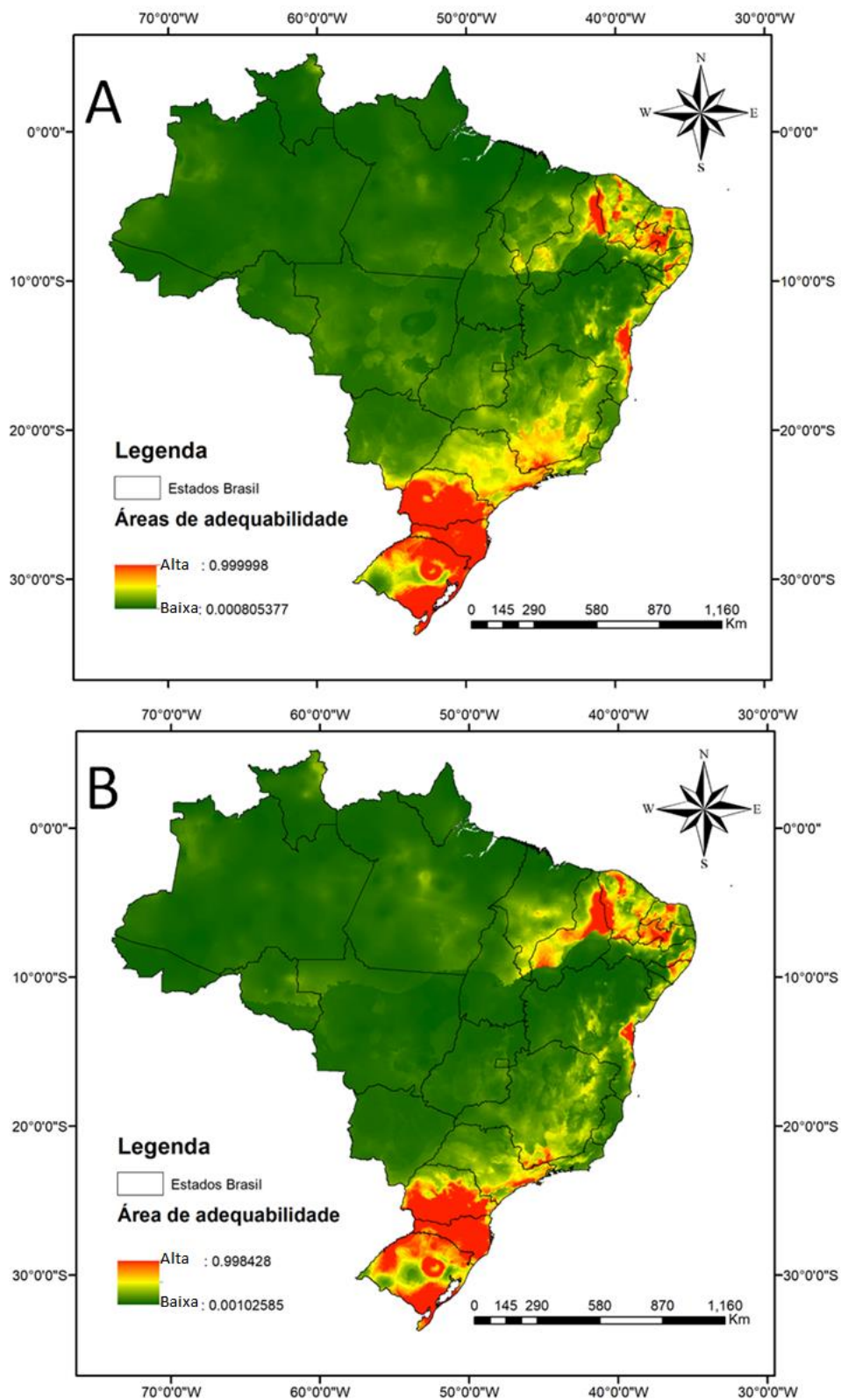
**Figura 30.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associado a suínos no Brasil. Modelo obtido pelo algoritmo Maxent.

A figura 31 apresenta o desempenho do modelo representado pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de 0,88  $\pm$  0,045 (p < 0,05%).



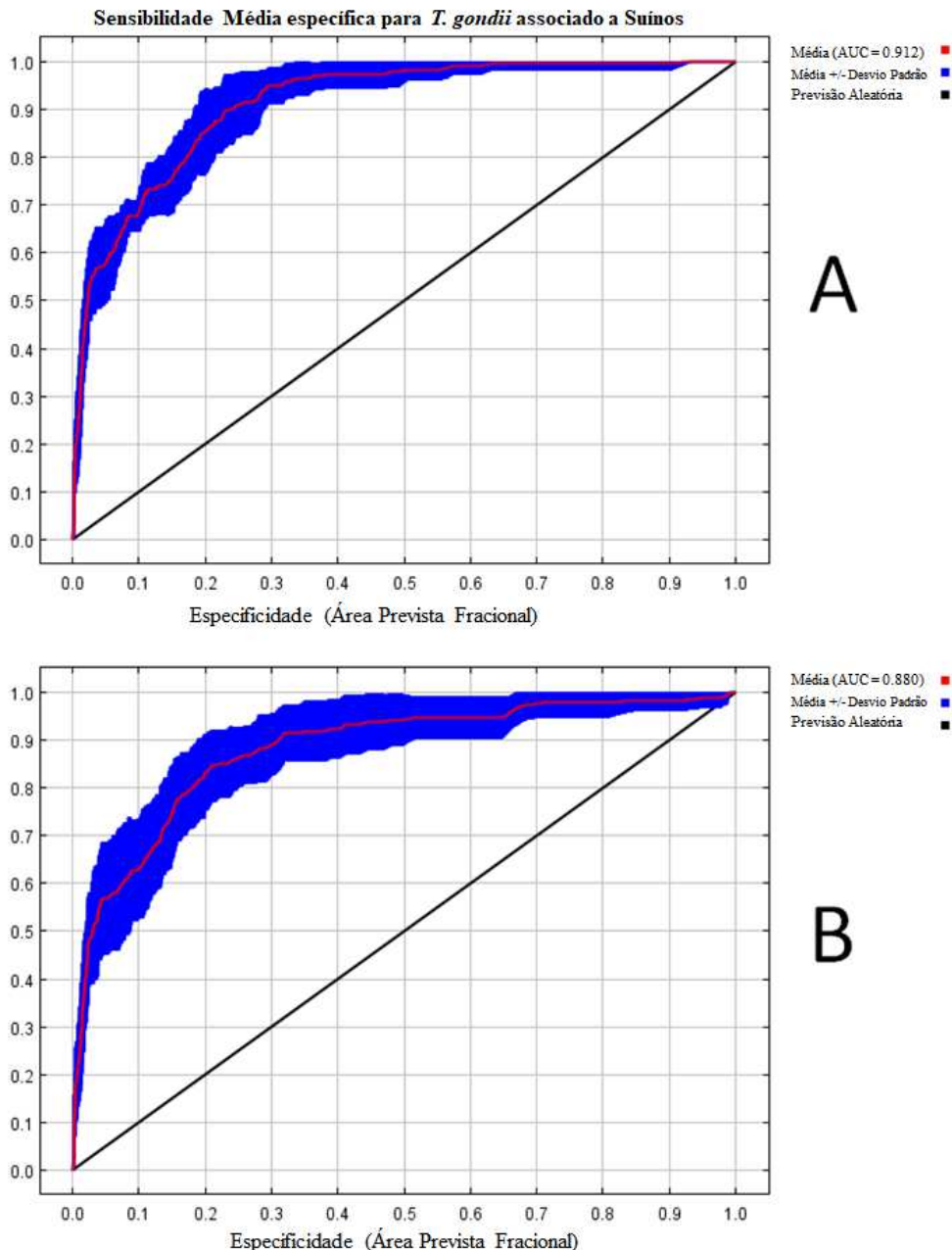
**Figura 31.** Desempenho do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a suínos seguindo-se os critérios de validação (p > 0.70).

Em ambos os cenários futuros de mudanças climáticas (Figura 32), observa-se que a região Sul do Brasil se mantém como área de adequabilidade alta e o Norte se mantém como área de adequabilidade baixa. Observa-se uma retração das áreas de adequabilidade intermediárias no Sudeste, sendo intensificada no cenário pessimista (Figura 32 B). A região Centro-oeste, juntamente com o sertão nordestino, apresentaram retração das áreas de adequabilidade intermediária, passando a ser áreas de baixa adequabilidade. Já a região costeira do Nordeste manteve suas áreas de adequabilidade alta (manchas vermelhas na figura 32) distribuídas em manchas.



**Figura 32.** Distribuição potencial de *Toxoplasma gondii* associada a suínos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. A. Projeções de distribuição futura em um cenário otimista (Worldclim 25\_50). B. Projeções de distribuição futura em um cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Modelo gerado pelo algoritmo Maxent.

A Figura 33 apresenta o desempenho do modelo baseado nos cenários otimistas (Figura 33 A) e pessimistas (Figura 33 B), representados pela curva ROC (Receiver Operating Characteristic). O valor de AUC para as execuções replicadas foi de  $0,91 \pm 0,022$  ( $p < 0,05\%$ ) e  $0,88 \pm 0,042$  ( $p < 0,05\%$ ), respectivamente.



**Figura 33.** Curvas de validação do modelo de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado a suínos no Brasil em um cenário de mudanças climáticas. Valores de AUC acima de 0.70 validação suportada. A. AUC para modelo de projeção futura em um cenário otimista (Worldclim 26\_50). B. AUC para modelo de projeção futura em cenário pessimista (Worldclim 85\_70). Resultados obtidos através do algoritmo Maxent.

#### 4.2.2. Efeito das variáveis sobre os modelos

A Tabela 3 mostra a porcentagem de contribuição de cada variável sobre os diferentes modelos de nicho climático de *Toxoplasma gondii* associado aos diferentes hospedeiros. Para as aves de corte a variável BIO12 (precipitação anual), foi a que mais explicou o modelo. Para os bovinos, a variável BIO 2 (média de alcance de temperatura diurna) foi a que mais explicou o modelo para essa associação. E para os caprinos, equinos, ovinos e suínos, a variável que mais explicou os respectivos modelos foi a BIO 1 (média de temperatura anual).

**Tabela 3.** Porcentagem de contribuição de cada variável sobre os modelos para os nichos fundamentais dos diferentes tipos de associações do parasito *Toxoplasma gondii* com seus hospedeiros animais de produção.

Variável Bioclimática	Porcentagem de contribuição %					
	Aves de Corte	Bovinos	Caprinos	Equinos	Ovinos	Suínos
Bio 1 = média de temperatura anual	7.4	1.9	<b>42.4</b>	<b>56.2</b>	<b>27.3</b>	<b>51.1</b>
Bio 2 = média de alcance de temperatura diurna	13.5	<b>38.8</b>	0.2	0.5	3.6	2.6
Bio 3 = Isotermalidade	6.8	0.4	3.6	0.2	20.5	7.8
Bio 5 = temperatura máxima do mês mais quente	16.7	3.0	20.4	2.9	16.5	2.1
Bio 7 = Alcance anual de temperatura	0.7	1.7	0.1	19.4	0.6	6.0
Bio 8 = média de temperatura do trimestre mais chuvoso	1.4	0.8	0.6	0.3	3.3	0.3
Bio 12 = Precipitação anual	<b>25.1</b>	4.1	13.3	3.7	12.1	0.8
Bio 13 = precipitação do mês mais chuvoso	7.7	4.6	2.5	0.4	7.8	2.0
Bio 14 = precipitação do mês mais seco	2.6	8.3	0.8	7.7	0	0
Bio 15 = Precipitação sazonal	7.4	16.5	8.8	1.3	2.8	19.5
Bio 18 = precipitação do trimestre mais quente	1.4	5.1	2.7	6.3	2.1	2.9
Bio 19 = precipitação do trimestre mais frio	9.3	14.7	4.7	1.1	3.5	4.8

### 4.3. DISCUSSÃO

Entender a distribuição de espécies parasitas, que infectam animais de produção é de extrema importância. Estes animais, muitas vezes são reservatórios de doenças transmitidas para os seres humanos, atuando como vetores epidemiológicos (ESTEBANREDONDO & INNES, 1997; RIBEIRO *et al.*, 2016). Além de serem vetores de doenças, devido ao consumo de carne mau cozida ou crua destes animais, também são indicadores de contaminantes ambientais, e dispersores de parasitoses, além de sofrerem com estas doenças, geralmente causando distúrbios comportamentais (GUO *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2016). A modelagem de nicho climática é uma importante ferramenta na análise de distribuição de parasitoses, por mostrar regiões onde estas doenças são mais propensas a ocorrer (PATZ *et al.*, 2000; CARLSON *et al.*, 2017).

Como observado na presente pesquisa, as áreas de adequabilidade para a toxoplasma associada a bovinos, estende-se pela região Norte e a costa do Nordeste do país. A região Nordeste torna-se uma zona preocupante para associações parasitárias de *Toxoplasma gondii* com os animais de produção. Na zona costeira desta região, encontra-se o bioma Floresta Atlântica, uma área que sofre fortes influências dos rebanhos existentes em suas proximidades. Os animais de produção, podem ser reservatórios e vetores desta parasitose para animais silvestres, constituindo risco para perda de biodiversidade (ZANIN *et al.*, 2017).

Os equinos, por serem animais incomuns na alimentação humana, tornam-se vetores e reservatórios da toxoplasmose. No entanto, a infecção por *T. gondii* em equinos no Brasil, não constitui riscos a saúde pública, pois a região Sul é a que mais exporta carne destes animais para os países da Europa e Ásia, enquanto as áreas de adequabilidade para esta associação parasitária, encontra-se focada na região Nordeste (EVERS *et al.*, 2013). Analisando os modelos de projeções futuras de nicho de *T. gondii* associado a equinos, observa-se que as áreas onde estão as maiores concentrações de rebanhos equinos, não serão áreas propensas a essa

associação parasitária. Isso não é um fator preocupante para o risco de infecção, devido ao consumo de carne deste animal. Entretanto, as áreas na região Nordeste, que são de baixa adequabilidade, convergem com áreas de alta adequabilidade para toxoplasmose associada a outros animais de produção, podendo ter o risco de distintas linhagens do *T. gondii* infectarem diferentes tipos de animais, e se dispersarem (EVERS *et al.*, 2013; CAZAROTTO *et al.*, 2016).

Os bovinos, juntamente com os suínos, são os animais de produção mais consumidos no Brasil (ALBUQUERQUE *et al.*, 2005; MARQUES-SANTOS *et al.*, 2017). Torna-se preocupante, o fato das áreas de alta adequabilidade, estarem situadas nos locais onde os rebanhos são criados. Nos cenários de mudanças climáticas, estas áreas tendem a se expandir e ocupar áreas cada vez maiores. Essa expansão pode ser vista, como um possível aumento do número de animais infectados. Assim, torna-se um problema de saúde pública crescente, pois um número maior de animais poderá ser infectados e atuarem como reservatório da doença (TENTER, 2000; SPAGNOL *et al.*, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2016).

Atualmente, o aumento da população humana e da conseqüente demanda por alimento, tem levado a expansão de áreas de criação de animais de produção para o consumo de carne. Em diversas áreas do globo, essa ampliação tem como conseqüência a intensificação do contato entre rebanhos e animais silvestres. Dentre os aspectos negativos associados a coexistência entre a fauna silvestre e os animais de produção, está a disseminação de patógenos (GORDON, 2018). A região Norte do país é uma área onde existe grande biodiversidade no bioma Floresta Amazônica, e a proximidade dos rebanhos bovinos com as unidades de conservação, podem constituir risco de transmissão da toxoplasmose para os animais silvestres, afetando assim, suas populações e gerando problemas de conservação das espécies silvestres.

Os resultados do presente estudo, embora relacionados aos animais de produção, tem implicações para a conservação de animais silvestres nos biomas brasileiros, dada a

inespecificidade de *T. gondii* por hospedeiros e da atuação destes como reservatórios do parasito (TENTER *et al.*, 2000).

Os modelos de nicho climático, em cenários de mudanças climáticas futuras, previram a expansão ou surgimento de novas áreas de alta adequabilidade para *T. gondii* em biomas como o Pantanal e a Floresta Amazônica. Esses biomas abarcam uma significativa diversidade de animais silvestres, e estão ameaçadas por pressões relacionadas as atividades humanas, como o desmatamento, o avanço da fronteira agrícola, a agropecuária e a pressão de urbanização (PERES *et al.*, 2010). Como consequência, observamos a intensificação da coexistência de rebanhos e animais silvestre, o que pode significar uma ameaça para a conservação da biodiversidade (MICHALSKI *et al.*, 2006).

A presença de animais de produção nos biomas Pantanal e Floresta Atlântica, pode favorecer a infecção dos hospedeiros definitivos silvestres, uma vez que a predação de animais de produção por felídeos silvestres é um fato relativamente comum (MICHALSKI *et al.*, 2006). A proximidade dos rebanhos, com as unidades de conservação e áreas protegidas, favorece a caça destes animais e a manutenção de ciclos biológicos locais. Com isso, os animais silvestres tornam-se mais propensos a infecções por linhagens de parasitos domésticos (EVERS *et al.*, 2013).

Os modelos baseados nas associações analisadas entre *T. gondii* e animais de produção, previram o surgimento de um novo *hotspot* de alta adequabilidade, correspondendo a toda a área do bioma Pantanal. Esse resultado indica que esta pode se tornar uma área de risco de infecção por *T. gondii*. Esse bioma apresenta características favoráveis a manutenção do ciclo, como a presença de rebanhos de animais de produção, aliada a grande riqueza de espécies silvestres de aves e mamíferos, que podem atuar como hospedeiros do parasito (MANOEL *et al.*, 2014). Outro fator importante, é a presença de nove espécies de felídeos na região do Pantanal, que atuam como hospedeiros definitivos de *T. gondii*. (ALHO *et al.*, 2011;



BARSTOW & LESLIE, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2016). A sazonalidade na pluviosidade, com um regime de cheias e secas, característico do Pantanal (JUNK *et al.*, 2000), pode favorecer a transmissão e dispersão de toxoplasmose. Durante o período de cheias, há o transporte de sedimentos em suspensão, contendo grande quantidade de matéria orgânica com oocistos (TREVELIN *et al.*, 2014). Este transporte pode favorecer a dispersão da parasitose do ambiente terrestre para os ecossistemas aquáticos (YAN *et al.*, 2016), aumentando o risco de infecção de espécies semi-aquáticas, tais como *Pteronura brasiliensis* (Zimmerman, 1780) e *Lontra longicaudis* (Olfers, 1818), ou que utilizam os habitats aquáticos com frequência, tais como *Tapirus terrestris* Linnaeus, 1758, *Marmosa murina* (Linnaeus, 1758), *Micoureus constantiae* Thomas, 1904, *Micoureus demerarae* (Thomas, 1905), *Marmosops noctivagus* (Tschudi, 1845) e *Chironectes minimus* (Zimmerman, 1780) (ALHO *et al.*, 2011). Com esse risco maior de infecção, estas espécies podem ter suas reproduções comprometidas, podendo assim, entrar na lista de espécies ameaçadas, constituindo risco para a conservação de animais silvestres.

Outro bioma fortemente comprometido é a Floresta Amazônica. Os modelos projetados em cenários de mudanças climáticas futuras, baseados nas associações entre *T. gondii* e animais de produção, previram a expansão ou o surgimento de novos *hotspots* de alta adequabilidade nesse bioma. Assim como observado no Pantanal, várias espécies de felídeos silvestres ocupam o bioma de Floresta Amazônica (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Tal fato pode potencializar a infecção por *T. gondii*, tanto em animais de produção, quanto em animais silvestres. Estudos recentes têm evidenciado o importante papel de hospedeiros definitivos silvestres na manutenção de ciclos silváticos de *T. gondii* (CAÑON-FRANCO *et al.*, 2013; RENDÓN-FRANCO *et al.*, 2014; ONUMA *et al.*, 2014), através da dispersão de oocistos, que podem ser transportados através de vetores físicos por grandes distâncias geográficas (SIMON *et al.*, 2013a; SIMON *et al.*, 2013b). Desta forma, o risco de transmissão de *T. gondii* para

animais silvestres, é potencializado neste bioma, que apresenta o rio com maior vazão do mundo, tornando-se um grande dispersor de oocistos (YAN *et al.*, 2016).

#### 4.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. R.; MUNHOZ, A. D.; FLAUSINO, W.; SILVA, R. T.; ALMEIDA, C.R.R.; MEDEIROS, S. M. & LOPES, C.W.G. Prevalência de anticorpos Anti-*Toxoplasma gondii* em bovinos leiteiros do Vale do Paraíba Sul Fluminense, estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Parasitologia veterinária**, v. 14, n. 3, p. 125-128, 2005.

ALHO, C. J. R.; CAMARGO, G. & FISCHER, E. Terrestrial and aquatic mammals of the Pantanal. **Brazilian Journal of Zoology**, v. 71, n. 1, p. 297-310, 2011.

ANDRADE, M.M.C.; CARNEIRO, M.; MEDEIROS, A.D.; NETO, V.A. & VITOR, R.W.A. Seroprevalence and risk factors associated with ovine toxoplasmosis in Northeast Brazil. **Parasite**, v. 20, p. e101051, 2013.

BARSTOW, A. L. & LESLIE, D. M.JR. *Leopardus braccatus* (Carnivora: Felidae). **Mammalian species**, v. 44, n. 891, p. 16-25, 2012.

BEZERRA, R.A.; PARANHOS, E.B.; DEL'ARCO, A.E. & ALBUQUERQUE, G.R. Detecção de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em suínos criados e abatidos no estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 18, n. 3, p. 78-80, 2009.

BORGES, A.M.C.M.; YEARGAN, M.R.; SILVA, L.G.; TAQUES, I.I.G.G.; HOWE, D. & AGUIAR, D.M. Antibodies against *Sarcocystis neurona*, *Neospora* spp., and *Toxoplasma gondii* in horses and mules from the Northern Pantanal Wetland of Brazil. **Journal of Equine Veterinary Science**, 56:19-25, 2017.

BRÜGGMANN, D.; HANDL, V.; KLINGELHÖFER, D.; JAQUE, J.; GRONEBERG, D. A. Congenital toxoplasmosis: an in-depth density-equalizing mapping analysis to explore its global research architecture. **Parasites & Vectors**, v. 8, p. 1-13, 2015.

CALDEIRA, F.H.B.; UBIALI, D.G.; GODOY, I.; DUTRA, V.; AGUIAR, D.M.; MELO, A.L.T.; RIET-CORREA, F.; COLODEL, E.M. & PESCADOR, C.A. Outbreak of caprine abortion by *Toxoplasma gondii* in midwest Brazil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 31, n. 11, p. 933-937, 2011.

CAMPIGOTTO, G.; SILVA, A.S.; VOLPATO, A.; FÁVERO, J. F.; GLOMBOWSKY, P.; GALLI, G.; MACHADO, V. S.; PORTELLA, L. P.; VOGEL, F.; STEFANI, L.M. & MACHADO, G. Risk factors for *Toxoplasma gondii* in sheep of southern Brazil. **Comparative Clinical Pathology**, v. 26, p. 631-635, 2017.

CANADA, N.; MEIRELES, C. S.; ROCHA, A.; COSTA, J. M. C.; ERICKSON, M. W. & DUBEY, J. P. Isolation of viable *Toxoplasma gondii* from naturally infected aborted bovine fetuses. **Journal of Parasitology**, v. 88, n. 6, p. 1247-1248, 2002.

CAÑON-FRANCO, W. A.; ARAÚJO, F. A. P. & GENNARI, S. M. *Toxoplasma gondii* in small neotropical wild felids. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 50, n. 1, p. 50-67, 2013.

CASARTELLI-ALVES, L.; AMENDOEIRA, M. R. R.; BOECHAT, V. C.; FERREIRA, L. C.; CARREIRA, J. C. A.; NICOLAU, J. L.; TRINDADE, E. P. F.; PEIXOTO, J. N. B.; MAGALHÃES, M. A. F. M.; OLIVEIRA, R. V. C.; SCHUBACH, T. M. P. & MENEZES, R. C. Mapping of the environmental contamination of *Toxoplasma gondii* by georeferencing isolates from chickens in an endemic area in Southeast Rio de Janeiro State, Brazil. **Geospatial Health**, v. 10, n. 311, p. 20-25, 2015.

CARLSON, C. J.; BURGIO, K. R.; DOUGHERTY, E. R.; PHILLIPS, A. J.; BUENO, V. M.; CLEMENTS, C. F.; CASTALDO, G.; DALLAS, T. A.; CIZAUSKAS, C. A.; CUMMING, G. S.; DOÑA, J.; HARRIS, N. C.; JOVANI, R.; MIRONOV, S.; MUELLERKLEIN, O. C.; PROCTOR, H. C. & GETZ, W. M. Parasite biodiversity faces extinction and redistribution in a changing climate. **Science Advances** 3: e1602422, 2017.

CAZAROTTO, C.J.; BALZAN, A.; GROSSKOPF, R.K.; BOITO, J.P.; PORTELLA, L.P.; VOGEL, F.F.; FÁVERO, J.F.; CUCCO, D.C.; BIAZUS, A.H.; MACHADO, G. & SILVA, A.S. Horses seropositive for *Toxoplasma gondii*, *Sarcocystis* spp. and *Neospora* spp.: possible risk factors for infection in Brazil. **Microbial Pathogenesis**, v. 99, p. 30-35. 2016.

CONDOLEO, R.; MUSELLA, V.; MAURELLI, M. P.; BOSCO, A.; CRINGOLI, G. & RINALD, L. Mapping, cluster detection and evaluation of risk factors of ovine toxoplasmosis in Southern Italy. **Geospatial Health**, v. 11, n. 432, p. 206-212, 2016.

COSTA, G. H. N.; COSTA, A. J.; LOPES, W. B.; BRESCIANI, K. D. S.; SANTOS, T. R.; ESPER, C. R. & SANTANA, A. E. *Toxoplasma gondii*: infection natural congenital in cattle and an experimental inoculation of gestating cows with oocysts. **Experimental Parasitology**, v. 127, p. 277-281, 2011.

DAGUER, H.; VICENTE, R. G.; COSTA, T.; VIRMOND, M. P.; HAMANN, W. & AMENDOEIRA, M. R. R. Soroprevalência de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em bovinos e funcionários de matadouros da microrregião de Pato Branco, Paraná, Brasil. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1133-1137, 2004.

DUBEY, J. P. Toxoplasma: induced abortion in dairy goats. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 178, n. 7, p. 671-674, 1981.

DUBEY, J.P. Distribution of cysts and tachyzoites in calves and pregnant cows inoculated with *Toxoplasma gondii* oocysts. **Veterinary Parasitology**, v. 13, n.3, p. 199-211, 1983.

DUBEY, J. P. (a) Toxoplasmosis in sheep - the last 20 years. **Veterinary Parasitology**, v. 163, p. 1-14, 2009.

DUBEY, J. P. & BEATTIE, C.P. Toxoplasmosis of Animals and Man. Boca Raton, Florida: CRC, 220 p., 1988.

DUBEY, J. P.; MILLER, S.; DESMONTS, G.; THULLIEZ, P.; ANDERSON, W. R. *Toxoplasma gondii* induced abortion in dairy goats. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 188, n. 2, p. 159-162, 1986.

DUBEY, J. P.; GRAHAM, D. H.; BLACKSTON, C. R.; LEHMANN, T.; GENNARI, S. M.; RAGOZO, A. M. A.; NISHI, S. M.; SHEN, S. K.; KWOK, O. C. H.; HILL, D. E.; THULLIEZ, P. Biological and genetic characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from chickens (*Gallus domesticus*) from São Paulo, Brazil: Unexpected findings. **International Journal for Parasitology**, v. 32, p. 99-105, 2002.

DUBEY, J. P.; GRAHAM, D. H.; DA SILVA, D. S.; LEHMANN, T.; BAHIA-OLIVEIRA, L. M. G. *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from Rio de Janeiro, Brazil: Mouse mortality, genotype, and oocysts shedding by cats. **Journal of Parasitology**, v. 89, p. 851-853, 2003.

DUBEY, J. P.; GENNARI, S. M.; LABRUNA, M. B.; CAMARGO, L. M. A.; VIANNA, M. C. B.; MARCET, P. L.; LEHMANN, T. Characterization of *Toxoplasma gondii* isolates in free-range chickens from Amazon, Brazil. **Journal of Parasitology**, v. 92, p. 36-40, 2006.

DUBEY, J. P.; APPLEWHAITE, L.; SUNDAR, N.; VELMURUGAN, G. V.; BANDINI, L. A.; KWOK, O. C. H.; HILL, R. & SU, C. Molecular and biological characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from Guyana, South America identified several unique and common parasite genotypes. **Parasitology**, v. 134, p. 1-7, 2007.

ELITH, J.; GRAHAM, C.H.; ANDERSON, R.P.; DUDIK, M.; FERRIER, S.; GUIBAN, A.; HIJMANS, R.J.; HUETTSMANN, F.; LEATHWICK, J.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L.G.; LOISELLE, B.; MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J.M.; PETERSON, A.T.; PHILLIPS, S.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R.; SOBERON, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. & ZIMMERMAN, N. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. **Ecography**, v. 29, p. 129-151, 2006.

ELITH, J.; PHILLIPS, S.J.; HASTIE, T.; DUDIK, M.; CHEE, Y.E. & YATES, C.J. A statistical explanation of Maxent for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, p. 43-57, 2011.

ESTEBAN-REDONDO, I. & INNES, E. A. *Toxoplasma gondii* infection in sheep and cattle. **Comparative immunology, microbiology infections disease**, v. 20, p. 191-197, 1997.

EVERS, F.; GARCIA, J.L.; NAVARRO, I.T.; ZULPO, D.L.; NINO, B.S.L.; EWALD, M.P.C.; PAGLIARI, S.; ALMEIDA, J.C. & FREIRE, R.L. Diagnosis and isolation of *Toxoplasma gondii* in horses from Brazilian slaughterhouses. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 22, n. 1, p. 58-63, 2013.

FERREIRA, E. C.; MARCHIORO, A. A.; GUEDES, T. A.; MOTA, D. C. G. A.; GUILHERME, A. L. F.; ARAÚJO, S. M. Association between seropositivity for *Toxoplasma gondii*, scholastic development of children and risk factors for T. gondii infection. **Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 107, p. 390-396, 2013.

FIGUEIREDO, J.F.; SILVA, D.A; CABRAL, D.D. & MINEO, J.R. Seroprevalence of *Toxoplasma gondii* infection in goats by the indirect haemagglutination, immunofluorescence and immunoenzymatic tests in the region of Uberlândia, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, v. 96, n. 5, p. 687-692, 2001.

FLAUSINO, W.; JESUS, V.L.T.; BEZERRA, R.A.; ALBUQUERQUE, G.R.; JORGE, J.L.B.P.; RODRIGUES, J.S.; MEIRELES, G.S. & PEREIRA, R.C.G. Ocorrência de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em suínos de um sistema de criação commercial no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, v. 32, n. 4, p. 198-200, 2010.

GORDON, I. J. Review: Livestock production increasingly influences wildlife across the globe. **Animal** 12, v. S2, p. 372-382, 2018.

GUIMARÃES, L.A.; BEZERRA, L.A.; ROCHA, D.S. & ALBUQUERQUE, G.R. Prevalence and risk factors associated with anti-*Toxoplasma gondii* antibodies in sheep from Bahia state, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 22, n. 2, p. 220-224, 2013.

GUO, M.; DUBEY, J. P.; HILL, D.; BUCHANAN, R. L.; GAMBLE, H. R.; JONES, J. L. & PRADHAN, A. K. Prevalence and risk factors for *Toxoplasma gondii* infection in meat animals and meat products destined for human consumption. **Journal of Food Protection**, v. 8, p. 457-576, 2015.

INESS, E.A. A brief history and overview of *Toxoplasma gondii*. **Zoonoses Public Health**, v. 57, p. 1-7, 2010.

JUNK, W. J.; CUNHA, C. N.; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRUSSMANN, C.; MARQUES, M. I. & ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brasil. **Aquatic Sciences**, v. 68, p. 278-309, 2000.

LOPES, C.S.; FRANCO, P.S.; SILVA, N.M.; SILVA, D.A.O.; FERRO, E.A.V.; PENA, H.F.J.; SOARES, R.M.; GENNARI, S.M. & MINEO, J.R. Phenotypic and genotypic characterization of two *Toxoplasma gondii* isolates in free-range chickens from Uberlândia, Brazil. **Epidemiology Infection**, 144: 1865-18-75, 2016.

LUO, H.Q.; LI, K.; ZHANG, H.; WU, B.; WANG, J.; SHAHZAD, M.; TU, Y.Q.; SONG, X.Z. & SUN, S.W. Seroepidemiology of *Toxoplasma gondii* and *Neospora caninum* infections in goats in Hubei province, China. **Tropical Biomedicine**, v. 33, n. 2, p. 285-289, 2016.

MANOEL P.S.; TREVELIN C.C.; NISHIDA S.M. & NIERO I.R.A. 2014. Fauna. In: GUIMARÃES E., TREVELIN C.C., MANOEL S. (Orgs). Pantanal. Paisagens, Flora e Fauna. 1. Ed. São Paulo, 86 p.

MARQUES-SANTOS, F.; AMENDOIRA, M.R.R.; CARRIJO, K. F.; SANTOS, J.P.A.F.; ARRUDA, I.F.; SUDRÉ, A.P.; BRENER, B. & MILLAR, P.R. Occurrence of *Toxoplasma gondii* and risk factors for infections in pigs raised and slaughtered in the Triângulo Mineiro region, Minas Gerais, Brazil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 570-576, 2017.

MILLAR, P. R.; SOBREIRO, L. G.; BONNA, I. C. F. & AMENDOEIRA, M. R. R. A importância dos animais de produção na infecção por *Toxoplasma gondii* no Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 693-706, 2008.

MICHALSKI, F.; BOULHOSA, R. L. P.; FARIA, A. & PERES, C. A. Human-wildlife conflicts in a fragmented Amazonian Forest landscape: determinants of large felid depredation on livestock. **Animal Conservation**, v. 9, p. 179-188, 2006.

NASCIMENTO, S. O.; POMPEU, P. S. & PASSAMANI M. Range extension of the Pantanal cat *Leopardus braccatus* (Carnivora, Felidae) in a Cerrado-Caatinga-Atlantic Forest Ecotone, Brazil. **Mastozoología Neotropical**, v. 23, n. 1, p. 171-177, 2016.



OLIVEIRA, L. N.; COSTA-JUNIOR, L. M.; MELO, C. F.; RAMOS-SILVA, J. C.; BEVILAQUE, C. M. L.; AZEVEDO, S. S.; MURADIAN, V.; ARAÚJO, D. A. F.V.; DUBEY, J. P. & GENNARI, S.M. *Toxoplasma gondii* isolates from free-range chickens from the Northeast region of Brazil. **Journal of Parasitology**, v. 95, n. 1, p. 235-237, 2009.

OLIVEIRA, T. G.; MAZIM, F. D.; VIEIRA, O. Q.; BARNETT, A. P. A.; SILVA, G. N.; SOARES, J. B. G.; SANTOS, J. P.; SILVA, V. F.; ARAÚJO, P. A.; TCHAIKA, L. & MIRANDA, C. L. Nonvolant mammal megadiversity and conservation issues in a threatened Central Amazonian Felidae hotspot in Brasil. **Tropical Conservation Science**, v. October-December 2016, p. 1-16, 2016.

ONUMA, S. S. M.; MELO, A. L. T.; KANTEC, D. L. Z.; CRAWSHAW-JÚNIOR, P. G.; MORATO, R. G.; MAY-JÚNIOR, J. A.; PACHECO, T. A. & AGUIAR, D. M. Exposure of free-living jaguars to *Toxoplasma gondii*, *Neospora caninum* and *Sarcocystis neurona* in the Brazilian Pantanal. **Brazilian Journal of Veterinary Parasitology**, v. 23, n. 4, p. 547-553, 2014.

PATZ, J. A.; GRACZYK, T. K.; GELLERA, N. & VITTOR, A. Y. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. **International Journal for Parasitology**, v. 30, p. 1395-1405, 2000.

PERES, C. A.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; ZUANON, J.; MICHALSKI, F.; LEES, A. C.; VIEIRA, I. C. G.; MOREIRA, F. M. S. & FEELEY, K. J. Biodiversity conservation in human-modified Amazonian forest landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, p. 2314-2327, 2010.

PHILLIPS, S.J.; ANDERSON, R. P. & SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, p. 231-259, 2006.

RÊGO, W.M.F. ; PAULA, N.R.O. ; VITOR, R.W.A. ; SILVA, R.A.B. ; DINIZ, B.L.M. ; SOUSA, M.M. ; COELHO, W.A.C. ; PORTIFIRO, K.P. ; PINHEIRO, R.R. ; ALVES, F.S.F. ; CAVALCANTE, A.C.R. & CARDOSO, J.F.S. Risk factors for *Toxoplasma gondii* infection in

goats and sheeps raised in the state of Piauí in northeast Brazil. **Small Ruminant Research**, v. 141, p. 17-23, 2016.

RENDÓN-FRANCO, E.; XICOTÉNCATL-GARCÍA, L.; RICO-TORRES, C. P.; MUÑOZ-GARCÍA, C. I.; CASO-AGUILAR, A.; SUZÁN, G.; CORREA, D. & CABALLERO-ORTEGA, H. Toxoplasmosis seroprevalence in wild small rodents, potentially preys of ocelots in north-eastern Mexico. **Parasite**, v. 21 p. 57, 2014.

RIBEIRO, M. J. M.; ROSA, M. H. F.; BRUHN, F. R. P.; GARCIA, A. D. M.; ROCHA, C. M. B. M. D. & GUIMARÃES, A. M. Seroepidemiology of *Sarcocystis neurona*, *Toxoplasma gondii* and *Neospora* spp. among horses in the south of the state of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 25, n. 2, p.142-150, 2016.

SIMON, A.; POULIN, M. B.; ROUSSEAU, A. N. & OGDEN, N. H. Fate and transport of *Toxoplasma gondii* oocysts in seasonally snow covered watersheds: A conceptual framework from a melting snowpack to the Canadian Arctic Coasts. **International Journal Environmental Research Public Health**, v. 10, p. 994-1005, 2013.

SPAGNOL, F.H.; PARANHOS, E.B; OLIVEIRA, L.L.S.; MEDEIROS, S.M.; LOPES, C.W.G. & ALBUQUERQUE, G.R. Prevalência de anticorpos anti-*Toxoplasma gondii* em bovinos abatidos em matadouros do estado da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, v. 18, n. 2, p. 42-45, 2009.

TENTER, A. M.; HECKEROTH, A. R. & WEISS, L. M. *Toxoplasma gondii*: from animals to humans. **International Journal for Parasitology**, v. 30, p. 1217-1258, 2000.

TREVELIN, C. C.; MANOEL, P. S.; DAMASCENO, G. A. J. & GUIMARÃES, E. Hidrologia. In: GUIMARÃES, E.; TREVELIN, C. C. & MANOEL, S. (Orgs). Pantanal. Paisagens, Flora e Fauna. 1. Ed. São Paulo, 86 p., 2014.

VARASCHIN, M. S.; GUIMARÃES, A. M.; HIRSCH, C.; MESQUITA, L. P.; ABREU, C. C.; ROCHA, C. M. B. M.; WOUTERS, F. & MOREIRA, M. C. Fatores associados a soroprevalência de *Neospora caninum* e *Toxoplasma gondii* em rebanhos caprinos na região sul de Minas Gerais. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 31, n. 1, p. 53-58, 2011.

VELMURUGAN G. V.; SU C. & DUBEY J. P. Isolate designation and characterization of *Toxoplasma gondii* isolates from -pigs in the united states. **Journal of Parasitology**, v. 95, p. 95-99, 2009.

YAN, C.; LIANG, L. J.; ZHENG, K. Y. & ZHU, X. Q. Impact of environmental factor son the emergence, transmission and distribution of *Toxoplasma gondii*. **Parasites & Vectors**, v. 9, p. 137, 2016.

ZANIN, M.; TESSAROLO, G.; MACHADO, N. & ALBERNAZ, A. L. M. Climatically-mediated land-cover change impacts on Brazilian territory. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, p. 939-952, 2017.

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se com o presente trabalho que a toxoplasmose associada a animais de produção e animais silvestres no Brasil apresenta uma ampla distribuição. Em todo o território nacional existem áreas de adequabilidade alta para a ocorrência desta parasitose, entretanto, algumas regiões são restritas para algumas associações, como é o caso do *T. gondii* associado a suínos, que possui sua área de maior adequabilidade localizada no Sul do país. Todavia, regiões como o Norte e Nordeste, merecem maior atenção, já que são áreas de maior adequabilidade, tanto para *T. gondii* associado aos animais silvestres, como aos animais de produção. Tal fato pode gerar grandes prejuízos para os criadores de animais destas regiões, devido as perdas na reprodução dos rebanhos, além de serem foco da doença, atuando como reservatórios para os seres humanos. Além disso, a contaminação ambiental nestas regiões poderá ser exacerbada, acarretando risco de maiores infecções nos animais silvestres, o que reflete diretamente na conservação destes. Outro fato importante, é que em projeções futuras, as regiões Norte e Nordeste também se destacam como áreas de adequabilidade alta para toxoplasmose associada a animais de produção e animais silvestres, o que sugere que tais áreas merecem maior visibilidade para medidas de controle, combate e tratamento desta parasitose em humanos e animais, inserção de planos de manejo mais adequados para unidades de conservação e incentivos maiores em políticas públicas para a saúde humana e animal.

## 6. APÊNDICES

**Apêndice 1.** Teste de Correlação entre as dezenove variáveis bioclimáticas para o shape do Brasil. Valores acima de 0.90 ( $p > 0.90$ ) correlação forte.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>
<b>1</b>	1	-0.25	0.75	-0.84	0.82	0.92	-0.62	0.89	0.94	<b>0.96</b>	<b>0.99</b>	0.37	0.52	-0.06	0.26	0.52	-0.05	-0.33	0.38
<b>2</b>	-0.25	1	-0.37	0.23	0.21	-0.59	0.84	-0.14	-0.37	-0.28	-0.27	-0.35	-0.17	-0.52	0.43	-0.16	-0.53	0.16	-0.60
<b>3</b>	0.75	-0.37	1	-0.85	0.35	0.84	-0.80	0.63	0.76	0.60	0.81	0.49	0.54	0.25	0.08	0.54	0.25	-0.17	0.55
<b>4</b>	-0.84	0.23	-0.85	1	-0.57	-0.83	0.67	-0.68	-0.84	-0.64	<b>-0.92</b>	-0.49	-0.64	0.05	-0.27	-0.65	0.04	0.26	-0.39
<b>5</b>	0.82	0.22	0.36	-0.57	1	0.58	-0.09	0.73	0.74	0.84	0.78	0.17	0.37	-0.29	0.37	0.38	-0.29	-0.36	0.10
<b>6</b>	<b>0.92</b>	-0.59	0.84	-0.83	0.58	1	-0.87	0.76	<b>0.94</b>	0.86	<b>0.93</b>	0.46	0.52	0.19	0.05	0.52	0.19	-0.36	0.59
<b>7</b>	-0.62	0.84	-0.80	0.67	-0.09	-0.87	1	-0.48	-0.69	-0.53	-0.66	-0.46	-0.41	-0.40	0.17	-0.40	-0.40	0.22	-0.65
<b>8</b>	0.89	-0.14	0.63	-0.68	0.73	0.76	-0.48	1	0.73	0.88	0.85	0.25	0.41	-0.12	0.29	0.41	-0.12	-0.17	0.22
<b>9</b>	<b>0.94</b>	-0.37	0.76	-0.84	0.74	<b>0.94</b>	-0.69	0.73	1	0.89	<b>0.95</b>	0.43	0.54	0.05	0.16	0.54	0.05	-0.41	0.49
<b>10</b>	<b>0.96</b>	-0.28	0.60	-0.64	0.84	0.86	-0.53	0.88	0.89	1	0.89	0.28	0.40	-0.02	0.18	0.40	-0.02	-0.36	0.37
<b>11</b>	<b>0.99</b>	-0.27	0.80	<b>-0.92</b>	0.77	<b>0.93</b>	-0.66	0.85	<b>0.95</b>	0.89	1	0.43	0.58	-0.04	0.26	0.59	-0.04	-0.33	0.42
<b>12</b>	0.37	-0.35	0.49	-0.49	0.17	0.46	-0.46	0.25	0.43	0.28	0.43	1	0.82	0.62	-0.50	0.85	0.65	0.36	0.66
<b>13</b>	0.52	-0.17	0.54	-0.64	0.36	0.52	-0.41	0.41	0.54	0.40	0.58	0.82	1	0.16	0.04	<b>0.99</b>	0.18	0.09	0.56
<b>14</b>	-0.06	-0.52	0.25	0.05	-0.29	0.19	-0.40	-0.12	0.05	-0.02	-0.04	0.62	0.16	1	-0.85	0.18	<b>0.99</b>	0.40	0.54
<b>15</b>	0.26	0.43	0.08	-0.27	0.36	0.05	0.17	0.29	0.16	0.18	0.26	-0.50	0.04	-0.85	1	-0.01	-0.87	-0.45	-0.40
<b>16</b>	0.52	-0.16	0.54	-0.65	0.37	0.52	-0.40	0.41	0.54	0.40	0.59	0.85	<b>0.99</b>	0.18	-0.01	1	0.20	0.13	0.56
<b>17</b>	-0.05	-0.53	0.25	0.04	-0.28	0.19	-0.40	-0.12	0.05	-0.02	-0.04	0.65	0.18	<b>0.99</b>	-0.87	0.20	1	0.42	0.56
<b>18</b>	-0.33	0.16	-0.17	0.25	-0.35	-0.36	0.22	-0.17	-0.41	-0.36	-0.33	0.36	0.09	0.40	-0.45	0.13	0.42	1	-0.12
<b>19</b>	0.38	-0.60	0.55	-0.39	0.10	0.59	-0.65	0.22	0.49	0.37	0.42	0.66	0.56	0.54	-0.40	0.56	0.56	-0.12	1