



Programa de Pós-Graduação em Diversidade Animal

Universidade Federal da Bahia

**Dissertação de mestrado**

Caroline de Oliveira Aranha

**Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ & MELLO, 1922 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones)**

Salvador

2015

Programa de Pós-Graduação em Diversidade Animal  
Universidade Federal da Bahia

Caroline de Oliveira Aranha

**Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ e MELLO, 1922 e  
*Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones)**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia para a obtenção do Título de Mestre em Zoologia pelo Programa de Pós-graduação em Diversidade Animal.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rejâne Maria Lira da Silva

Salvador

2015

Sistema de Bibliotecas da UFBA

Aranha, Caroline de Oliveira.

Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ e MELLO, 1922 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones) / Caroline de Oliveira Aranha. - 2015.  
69 f.: il.

Inclui anexo.

Orientadora: Profª. Drª. Rejâne Maria Lira da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Salvador, 2015.

1. Escorpião. 2. Nicho (Ecologia). 3. *Tityus serrulatus*. 4. *Tityus stigmurus*. 5. Ecologia.  
I. Silva, Rejâne Maria Lira da. II. Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. III. Título.

CDD - 595.45

CDU - 595.46

Comissão julgadora

---

**Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ e MELLO, 1922 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachinida: Scorpiones)**

Caroline de Oliveira Aranha

Orientadora: Rejâne Maria Lira da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Diversidade Animal da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre na área de Zoologia.

Aprovada por:

Em: 19 de outubro de 2015

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Guilherme de Oliveira

1<sup>o</sup> membro

---

Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Alessandro Ponce de Leão Giupponi

2<sup>o</sup> membro

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rejâne Maria Lira da Silva

Orientadora

## Dedicatória

---

*Aos animais, seres mais  
perfeitos da criação,  
dedico.*

## Epígrafe

---

*“Enquanto todo mundo espera a cura do mal, e a loucura finge que isso tudo é normal,*

*Eu finjo ter paciência...*

*O mundo vai girando cada vez mais veloz, a gente espera do mundo, e o mundo espera de nós,*

*Um pouco mais de paciência...*

*Mesmo quando tudo pede um pouco mais de calma, até quando o corpo pede um pouco mais de alma*

*A vida não para...”*

**- Lenine & Dudu Falcão**

## Agradecimentos

---

Na verdade, expressar meus agradecimentos sobre o desenvolvimento dessa dissertação é um exercício de disciplina e ordenação. Por isso, entre aqueles que estão acima de qualquer ordem, expresso meus agradecimentos, seja por me acompanhar e colaborar nessa jornada, seja por permitir esse caminho: a Deus, pelo dom da vida, pela sabedoria, pela sustentação; a meu marido Helanio Souza, sem o qual tudo isso sequer começaria, pelo companheirismo, apoio, incentivo, torcida e dedicação durante esses últimos oito anos; a Artur Sena: só ele é capaz de entender o quanto fez parte disso tudo, o quanto me entendeu e me mostrou o que eu não conseguia enxergar; você é mais que meu colega de turma e amigo, preto! Você é meu irmão! E à minha família (pai, mãe, irmã, 'filho'), que são meu alicerce sempre.

Agora sim, em ordem decrescente de colaboração e indispensabilidade durante o período de dissertação: a Rilquer Mascarenhas: pela iniciação na modelagem, e mesmo na Ecologia; pela ajuda, apoio, ensino e consultorias eternas; pela paciência, disposição e objetividade; por ser o pai da minha dissertação! Enfim, pode ter certeza que não seria possível pra mim se não fosse por você. A Ricardo Dobrovolski, pelas consultorias infinitas, pela paciência e ajuda indispensáveis. A Walter Costa, por toda a ajuda prestada, cálculos no R, ajuda com a modelagem. A Rafael Martins, pelas excelentes fotos, esclarecimento de dúvidas e pesquisas bibliográficas na madrugada. A Rejane Silva, pelas conversas, explicações sobre nicho, referências bibliográficas e momentos de descontração.

As amizades, nesse momento, foram as mais essenciais: me ajudaram a manter a sanidade e a extravasar nos momentos essenciais. À minha amiga Aline Souza, que está comigo para tudo, mesmo quando distante. Aos amigos de sempre do "Biólogos e Agregados", que são indispensáveis. A Alan Marqueson: parafraseando outro amigo: "não é porque a pessoa entra aos 43 do 2º tempo que ela não pode fazer um gol". Você chegou ao final do processo, mas esteve lá, conversando e incentivando durante as infinitas madrugadas para que tudo desse certo. Aos amigos do PPGDA: todos foram ótimos (Artur, Rosa, Raquel, Jessica, Jessika, Mona, Rayane....S2), passamos por tudo juntos (ESB, aff..., Taranta....), e a amizade só nos ajudou. Aos

colegas de trabalho do NOAP, pelos momentos de conversa, descontração e colaboração, em especial Vincent Malheiros, pelas diversas consultorias francês-português, Pedro Victor e Ivson Gomes, pela consultoria português-inglês.

Por fim, e não menos importante, à minha orientadora Rejâne Lira, que me atura e acompanha há 04 anos, com paciência, empenho, dedicação e alguns bons puxões de orelha. Ao Programa de Pós Graduação em Diversidade Animal (PPGDA), por ser a minha casa e minha escola, e a CAPES, por conceder a bolsa e assim, me custear pelos últimos dois anos.



## Índice

---

Introdução Geral	10
<b>Capítulo I: Modelagem de nicho ecológico de <i>Tityus serrulatus</i> LUTZ e MELLO, 1922 e <i>Tityus stigmurus</i> (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones).</b>	14
<b>Abstract</b>	<b>15</b>
<b>Resumo</b>	<b>16</b>
<b>Introdução</b>	<b>18</b>
<b>Material e Métodos</b>	<b>22</b>
<b>Resultados</b>	<b>30</b>
<b>Discussão</b>	<b>40</b>
<b>Conclusões</b>	<b>46</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>48</b>
Conclusões Finais	56
Referências	58
Anexos	60

## Introdução Geral

---

As diversas espécies que habitam nosso planeta parecem ser bem adaptadas ao ambiente onde vivem. Isso seria impossível se imaginarmos os ecossistemas existentes na Terra e, conseqüentemente, algum tipo de adaptação que permitisse a diferentes espécies ocuparem tantos lugares e ambientes distintos (Ab'Sáber, 1967). Isso se dá principalmente quando relacionamos estes diferentes ambientes ao conceito de herança: os domínios paisagísticos mundiais nada mais são do que heranças de processos biológicos, fisiológicos e abióticos que novamente serão herança ao serem essenciais para a formação de novas comunidades (Ab'Sáber, 2003).

Nesse contexto, nota-se que as espécies não estão adaptadas a todos os tipos de ambientes e ecossistemas existentes, e sim ao lugar onde vivem, a um espaço delimitado no qual ocorrem. Assim, surge o conceito de nicho ecológico como um espaço n-dimensional que possui as características essenciais para a ocorrência e conseqüente sobrevivência da espécie (Begon, Townsend & Harper, 2007). No entanto, as discussões que levaram à construção deste conceito foram e ainda são controversas.

Quem primeiro surgiu com a ideia de que há um nicho ecológico para cada espécie foi Joseph Grinnell, em 1917. Para ele, o nicho ecológico é “a última unidade distribucional de uma espécie ou subespécies” (Grinnel, 1917; 1924). Em 1928, Grinnell sugeriu que o conceito dessa ‘unidade de distribuição final’, hoje chamada nicho ecológico, está associado a um lugar onde “cada espécie é mantida por suas próprias limitações estruturais e instintivas”, que sofrem pequenas modificações ao longo do tempo. Chamado de ‘nicho grinnelliano’, o conceito de nicho ecológico ou ambiental refere-se a uma propriedade do ambiente, e não do seu ocupante. Há ainda a ideia de nicho exclusivo, espaço ocupado pelo organismo que só é válido livre de outros organismos. Assim, o conceito de nicho ecológico grinnelliano só admite fatores abióticos como os responsáveis pela ocorrência e permanência da espécie em determinado lugar (Grinnell, 1928).

Considerando as discussões e controvérsias sobre nicho ecológico, Charles S. Elton, em 1927, propôs um novo conceito: o nicho ecológico de um organismo corresponderia à sua posição no ambiente biótico e a relação estabelecida entre ele, o seu alimento e os seus predadores. Nesse conceito, agora chamado de 'nicho eltoniano', apenas variáveis e fatores bióticos são levados em consideração, focando então no papel funcional da espécie dentro da cadeia trófica.

Assim, duas visões antagônicas e complementares são propostas a respeito de nicho ecológico: nicho sob as óticas ambiental e biótica. Não vendo o porquê de os conceitos serem necessariamente excludentes, Huntchinson agregou ambos os conceitos em um novo conceito de nicho ecológico: nicho com um hiper-espaço n-dimensional, onde todos os fatores ambientais agem sobre o organismo (Huntchinson, 1944). Huntchinson propôs que, como espaço n-dimensional, os nichos ecológicos de várias espécies acabam por se sobrepor em alguns desses eixos dimensionais, ocupando o mesmo nicho ecológico. Então, ele propôs o chamado Teorema de Gause: apesar de haver sobreposição de eixos, isso nunca vai ocorrer em todos os eixos que compõem o espaço n-dimensional de cada espécie. Isso explica a infinidade de nichos ecológicos que sabemos existir. Com essa proposição, Huntchinson elaborou os conceitos que chamamos hoje de nicho fundamental e nicho realizado de uma espécie. Enquanto o nicho fundamental abriga todas as características do espaço n-dimensional essenciais para a espécie na ausência de outros organismos, o nicho realizado é a porção do nicho fundamental realmente ocupada pela espécie, considerando todas as interações interespecíficas neste ambiente (Huntchinson, 1944; 1957; 1978).

O que hoje entende-se por nicho ecológico é basicamente a ideia formulada por Huntchinson, que é a mais bem aceita pela comunidade científica. Entretanto, ferramentas para o estudo do nicho ecológico dos organismos têm sido desenvolvidas, e há dificuldade para criar métodos que consigam avaliar tanto fatores bióticos quanto abióticos do ambiente ao mesmo tempo. Tal situação tem gerado questionamentos sobre a validade destes métodos (Davis *et al.*, 1998; Leathwick, 2002) que concentram suas análises em fatores abióticos. Uma dessas ferramentas é a modelagem de nicho ecológico, que em geral é realizada com base em variáveis bioclimáticas e/ou topográficas (de altitude e de relevo). Essa

ferramenta é, portanto, baseada apenas numa análise do nicho grinnelliano, e por isso mesmo têm sido questionada. Pesquisas sobre comparações entre métodos para a modelagem têm sido realizadas a fim de identificar o software que possibilite a modelagem mais acurada possível, levando-se em conta que cada método baseia-se em pressupostos diferentes (Peterson, Papes & Eaton, 2007; Costa *et al.*, 2010), ou utilizando um consenso entre os modelos gerados pelos principais métodos de modelagem (Bernardo-Silva *et al.*, 2012).

Em nossa pesquisa, a modelagem de nicho ecológico foi feita com base no método de Máxima Entropia (MAXENT; Phillips *et al.*, 2006), que tem-se mostrado uma ferramenta eficiente em prever modelos de distribuição de espécies (Peterson & Nyári, 2007; Phillips & Dudík, 2008; Bernardo-Silva *et al.*, 2012). Os modelos gerados através do MAXENT são eficazes em preencher lacunas sobre a distribuição das espécies, principalmente as causadas pela amostragem concentrada em locais com grupos de pesquisa especializados.

A concentração de amostragem e trabalhos em apenas alguns grupos de pesquisa pontuais prejudicam e enviesam os dados. Isso ocorre porque acabam sendo gerados muitos dados para uma região, enquanto quase não há registro em outras. Isso ocorre, por exemplo, no estudo dos escorpiões, já que apenas 28 grupos de pesquisa no Brasil trabalham com alguma linha de pesquisa sobre eles (Brazil & Porto, 2011). Isso torna o grupo dos escorpiões um excelente modelo para trabalhos de extrapolação de nicho, como a modelagem. Dessa forma, consideramos que a modelagem de nicho ecológico pode ser uma ferramenta capaz de minimizar as lacunas existentes em estudos de distribuição, principalmente os que se referem aos escorpiões (Dias *et al.*, 2011; Dominguez-Dominguez *et al.*, 2006; Giovanelli *et al.*, 2008). Estudos sobre a distribuição espacial desses animais no Brasil foram feitos exclusivamente com base nas unidades geopolíticas (Estados), que acabam por não levar em consideração as características do ambiente e a ocupação das diferentes espécies no espaço.

A exclusão competitiva também é um conceito essencial quando falamos sobre nicho ecológico. O princípio da exclusão competitiva, proposto por Gause (1934), sugere que espécies competindo pelo mesmo recurso em um nicho ecológico semelhante não podem coexistir, a menos que evoluam para nichos distintos. Caso

isso não ocorra, tende-se à extinção de pelo menos uma delas. De acordo com este princípio, hoje nomeado Princípio de Volterra-Gause, diferenças de nicho são essenciais para garantir uma coexistência estável (Hutchinson, 1957; Chesson, 1991).

Assim, propomos um estudo com o objetivo de modelar a distribuição de duas espécies de escorpiões brasileiros, *Tityus serrulatus* e *Tityus stigmurus* (Scorpiones; Buthidae) para o presente e para o futuro, identificar as variáveis bioclimáticas que mais influenciam tal distribuição e a possível ocorrência de exclusão competitiva destas espécies em diferentes biomas.

## Capítulo

---

Esta dissertação é constituída de um único capítulo.

Título: **Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ e MELLO, 1922 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones).**

Autoras: Caroline de Oliveira Aranha, Tania Kobler Brazil e Rejâne M. Lira-da-Silva.

A ser submetido para: **Zoological Journal of the Linnean Society, Series B, Zoology, ISSN: 1096-3642.**

As normas do periódico são apresentadas no Anexo I.

## **Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* LUTZ e MELLO, 1922 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Arachnida: Scorpiones)**

Caroline de Oliveira Aranha<sup>1,2</sup>, Tania Kobler Brazil<sup>1</sup> e Rejâne M. Lira-da-Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia, Departamento de Zoologia, Instituto de Biologia, Núcleo de Ofiologia e Animais Peçonhentos da Bahia. Rua Barão de Jeremoabo, 147, Salvador, Bahia, Brazil, 41170115.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Diversidade Animal, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. E-mail: carolinearanha1@gmail.com; taniakbrazil@hotmail.com; rejane@ufba.br

### **Abstract**

Scorpions are venomous animals with high plasticity and some synanthropic species referred as and urban pests, these animals could serve as an excellent model to Biogeography, Natural History and Evolutionary ecology studies. In this sense, the ecological niche-modelling tool may contribute to the comprehension of essential characteristic from species geographic distribution and fill the blanks about occurrence area, also allowing predicting future distribution patterns. The objective of this work was to model the ecological niche from the scorpions species *Tityus serrulatus* and *Tityus stigmurus* and to identify the variables that influence the distribution, beside the possible occurrence of competitive exclusion of these species in different biomes. The species occurrence data were obtained from 12 Brazilian aracnological collections. The bioclimatic variables were get from the *Worldclim* databank and the niche modelling study was done with the MAXENT software. The results showed that the Atlantic Rain Forest biome is influencing both species distribution and is the unique biome with distributional overlap of *T. serrulatus* and *T. stigmurus*. There are also evidences of competition and competitive exclusion between both species in the biomes Tropical Rain Forest, Caatinga and Savannah (*Tityus obscurus*, *Rhopalurus rochae* and *Rhopalurus agamemnom*, and *Tityus trivitattus*, respectively). For *T. serrulatus* the most important variable is the average annual temperature, which is high in general. However to *T. stigmurus* the temperature variation influences the most its distribution. In conclusion, temperature limits both species of this study, *T. serrulatus* doesn't seem to support very elevated

temperatures, while *T. stigmurus* suffers with constant temperature variations. Despite this, *T. serrulatus* have expanded its distribution in the last decades, as both have proliferated, mainly in Brazilian urban “pockets of poverty”, which grow disorderly, making it a public health issue.

Keywords: ecologic niche-modelling, *Tityus serrulatus*, *Tityus stigmurus*.

## Resumo

Os escorpiões são animais peçonhentos, com alta plasticidade e algumas espécies sinantrópicas consideradas pragas urbanas, e que podem ser excelentes modelos para estudos de Biogeografia, História Natural e Ecologia Evolutiva. Nesse contexto, a ferramenta de modelagem de nicho ecológico pode contribuir para a compreensão de características essenciais para a ocorrência das espécies e para fechar lacunas sobre áreas de ocorrência, além de permitir prever padrões de distribuição futura. Os objetivos do trabalho foram modelar a distribuição de *Tityus serrulatus* e *Tityus stigmurus* e identificar as variáveis que influenciam esta distribuição, além da possível ocorrência de exclusão competitiva destas espécies em diferentes biomas. Os dados de ocorrência das espécies foram obtidos de 12 coleções aracnológicas no Brasil, as variáveis bioclimáticas foram oriundas do *Worldclim* e a modelagem de nicho ecológico feita no MAXENT. Os resultados indicaram que o bioma que influencia a ocorrência das duas espécies é a Mata Atlântica, com registros de sobreposição para este bioma, enquanto para Amazônia, Caatinga e Cerrado há indícios de que haja competição e exclusão competitiva das espécies modelo pelas espécies típicas de cada bioma (*Tityus obscurus*, *Rhopalurus rochae* e *Rhopalurus agamemnom* e *Tityus trivittatus*, respectivamente). Para *Tityus serrulatus*, a variável climática mais importante é a temperatura média anual, que em geral é elevada, enquanto que para *Tityus stigmurus*, a variação anual de temperatura é o fator que mais influencia sua distribuição. Concluiu-se que a temperatura limita ambas as espécies do estudo, pois enquanto *T. serrulatus* parece não suportar temperaturas muito elevadas, *T. stigmurus* sofre com variações constantes da temperatura. Apesar disso, *T. serrulatus* tem ampliado a sua distribuição nas últimas décadas assim como *T. stigmurus*, e ambas têm se proliferado, principalmente nos bolsões



de pobreza de cidades brasileiras com crescimento desordenado, constituindo-se em um problema de saúde pública.

Palavras-chave: modelagem de nicho, *Tityus serrulatus*, *Tityus stigmurus*.

## Introdução

Os escorpiões, pertencentes ao Filo Arthropoda, possuem o corpo segmentado, exoesqueleto quitinoso e apêndices articulados. A Ordem Scorpiones é caracterizada por apresentar opistossoma dividido em mesossoma (sete segmentos ou tergitos) e metassoma (cinco segmentos), com glândula de veneno associada ao télson e um par de apêndices sensoriais no III segmento do mesossoma, chamados de pentes (Stockwell, 1989). Possuem um par de quelíceras (apêndices pré-orais articulados), característica que os classifica como parte do subfilo Chelicerata, além de um par de pedipalpos (Stockmann, 2015). Estes animais existem há mais de quatrocentos milhões de anos, sendo um dos primeiros grupos a colonizar o ambiente terrestre, e remetem ao Siluriano médio (Polis, 1990; Stockmann, 2015).

A fauna mundial de escorpiões abrange 16 famílias, 190 gêneros e 2.100 espécies descritas (Stockmann, 2015). Um terço desta diversidade pertence a uma única família, a Buthidae (Fet *et al.*, 2000), que contém cerca de 30 espécies cujas peçonhas podem provocar acidentes graves ou letais em seres humanos (Chippaux & Goyffon, 2008), evidenciando sua importância médica. Apesar de ser considerado um grupo pouco expressivo com relação à riqueza de espécies, globalmente, a Ordem Scorpiones apresenta distribuição geográfica bastante ampla, com representantes em todos os continentes, com exceção da Antártida (introduzidos acidentalmente na Nova Zelândia e Inglaterra) (Polis, 1990; Lourenço, 2015). No Brasil, estão presentes 4 famílias e aproximadamente 110 espécies. O gênero *Tityus*, pertencente à família Buthidae, é o mais diversificado, com mais de 50 espécies, e representa cerca de 60% da fauna escorpiônica neotropical. O sucesso evolutivo desta família deve-se principalmente ao fato de eles se adaptarem bem, tanto em ambientes conservados, quanto áreas degradadas e antropizadas (Lourenço, 2015). Na Bahia, existem 25 espécies de escorpiões, distribuídas em 3 famílias, o que representa quase 1/3 da escorpiofauna nacional (Brazil & Lira-da-Silva, 2010; Brazil & Porto, 2011), sendo 13 deles do gênero *Tityus*, que abriga todas as espécies de importância médica do Brasil (Pucca *et al.*, 2015).

Todos os escorpiões são peçonhentos e seus venenos possuem características bioquímicas que permitem uma grande adaptação destes animais a diferentes tipos

de presas, sendo compostos por uma mistura de componentes solúveis ou não, com frações tóxicas e de baixo peso molecular (Gazarian *et al.*, 2005). O veneno escorpiônico é considerado de extrema versatilidade, sendo eficaz tanto contra pequenos insetos e outros artrópodes, quanto para pequenos vertebrados (Bordon, Cologna & Arantes, 2015). Além disso, apesar de apresentarem uma morfologia conservada desde seu surgimento e irradiação, as características comportamentais e adaptações fisiológicas dos escorpiões os permitiram ocupar diferentes habitats e tornar-se um excelente modelo para estudos que variam desde a pesquisa e caracterização bioquímica, até estudos de história natural, ecologia evolutiva (Polis, 1990) e mesmo estudos bioindicadores de degradação ambiental e urbanização.

O problema do escorpionismo no Brasil e na Bahia é alarmante e os acidentes por estes animais são considerados um problema de saúde pública. Dados do Ministério da Saúde apresentados ao SINAN (Sistema de Informação de Agravos de Notificação), para o período de 2000 a 2012, registram 482.479 casos de acidentes, com 749 mortes. Em 2012, foram registrados 63.871 casos, com 94 mortes (Pucca *et al.*, 2015). A letalidade destes acidentes é baixa para adultos saudáveis (0,15%), mas o risco de morte é maior na faixa etária de até 14 anos e em idosos, chegando a até 48% (Pucca *et al.*, 2015). Os principais casos de acidentes humanos graves e, até mesmo letais no Brasil, estão relacionados basicamente a três espécies: *Tityus serrulatus* LUTZ & MELLO, 1922, *Tityus bahiensis* PERTY, 1833 e *Tityus stigmurus* (THORELL, 1876) (Lira-da-Silva *et al.*, 2009). Condições de habitat, disponibilidade de presas e abrigo favoráveis aos escorpiões têm tornado este um problema ainda mais sério para a sociedade. Os escorpiões são animais sinantrópicos, o que os torna verdadeiras pragas urbanas (Lira-da-Silva *et al.*, 2009; Pucca *et al.*, 2015). As espécies do gênero *Tityus* apresentam alta plasticidade ecológica aliada a uma razoável capacidade de dispersão, e, por isso podem ser encontradas em ambientes perturbados ou modificados pela ação do homem como espécies oportunistas ou generalistas. A presença ou proliferação de escorpiões em cidades tem sido vinculada a características fisionômicas e sócioeconômicas destas localidades, tais como alta densidade demográfica, crescimento desordenado, falta de saneamento básico, acúmulo de lixo e de material de construção, propiciando refúgio e alimentação farta (insetos caseiros). Porém, o comportamento adaptativo em cidades altamente urbanizadas tem sido referido apenas para as duas espécies em

questão (*T. serrulatus* e *T. stigmurus*) (Brazil *et al.*, 2009; Lira-da-Silva *et al.*, 2009; Pucca *et al.*, 2015). Segundo Lourenço (2015), esses animais são altamente plásticos, adaptam-se e colonizam ambientes degradados pela atividade humana de forma rápida e eficaz, com altas taxas de reprodução e sobrevivência, comportamento tipicamente r-estrategista, apresentado pela maioria dos escorpiões (Stockmann, 2015). Duas espécies em especial chamam atenção quanto à sua ampla distribuição e gravidade dos acidentes: *T. serrulatus* e *T. stigmurus*.

*Tityus serrulatus* tem ocorrência registrada no Brasil para os estados da Sergipe, Bahia, Goiás, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná, considerado o principal agente etiológico do escorpionismo no país. *Tityus stigmurus* tem registro de ocorrência para todo o nordeste do Brasil, exceto o Maranhão (Almeida, 2010). Pucca *et al.* (2015) atualizaram a distribuição de *Tityus serrulatus* e assinalaram a ocorrência deste para outros oito estados além dos referidos acima.

A questão central que se coloca é que a maioria dos estudos sobre escorpiões no Brasil refere-se ao veneno, à epidemiologia dos acidentes e à sistemática. As explicações para esta questão podem ser a carência de especialistas no grupo, aliado à importância médica dos escorpiões e de seus venenos. São escassos os estudos sobre história natural, filogeografia, biogeografia e bio-ecologia das espécies, que busquem explicar áreas de provável ocorrência, sua distribuição futura ou mesmo os limites de ocorrência das espécies para os principais biomas brasileiros. Quando trata-se de trabalhos de distribuição espacial em nosso País, mesmo os mais recentes, tratam da distribuição geopolítica (Estado) e não por biomas.

Neste contexto, Lourenço (2015) chama a atenção que conhecer aspectos da história natural do animal pode nos ajudar a identificar que nichos ecológicos a espécie é capaz de habitar, e quais as condições ideais para sua ocorrência, dando suporte para estudos biogeográficos.

O nicho ecológico é aqui tratado como um espaço n-dimensional no qual existem as interações e condições essenciais para a ocorrência de uma espécie (Begon, Townsend & Harper, 2007). A modelagem de nicho ecológico surge então como uma ferramenta bastante promissora em prever distribuições potenciais e futuras

para diversas espécies, geralmente baseadas em variáveis bioclimáticas e/ou ambientais (Oliveira *et al.*, 2014). Esse método consiste em gerar modelos (mapas de probabilidade de ocorrência) de uma determinada espécie baseando-se em dados de nicho realizado destas e de variáveis ambientais, bioclimáticas e/ou espaciais para prever distribuições potenciais destas mesmas espécies (Anderson *et al.*, 2002; Colwell & Rangel, 2009). A ferramenta da modelagem de nicho ecológico têm-se mostrado eficaz em extrapolar padrões de distribuição, áreas de nicho fundamental e previsões futuras (Terribile *et al.*, 2012), e tem sido utilizada em estudos dos mais diversos grupos, com abordagens em áreas como biogeografia e filogeografia (Carnaval & Moritz, 2008; Werneck *et al.*, 2011), biologia conservativa (Dominguez-Dominguez *et al.*, 2006; Dias *et al.*, 2011) e evolução (McCormack *et al.*, 2009).

À luz dessas considerações, as questões orientadoras do presente estudo foram: (1) como estão distribuídas espacialmente os registro de ocorrência de *Tityus serrulatus* e *Tityus stigmurus* no Brasil e em seus biomas? (2) quais as áreas de provável ocorrência destas espécies nos biomas atualmente e para o futuro (ano de 2070)? e (3) quais variáveis ambientais influenciam esta distribuição?

Este artigo tem como objetivo modelar a distribuição das espécies *T. serrulatus* e *T. stigmurus* para os biomas brasileiros, identificando quais as variáveis ambientais influenciam/explicam a distribuição destas, e avaliando a possível ocorrência de exclusão competitiva para estas espécies e os seus limites de ocorrência para os biomas Amazônia, Caatinga e Cerrado.

## Material e Métodos

- *Área de estudo*

O Brasil possui cerca de 4.300 km de distância entre os pontos extremos Norte e Sul, e Leste e Oeste, uma área total de 8.515 767 km<sup>2</sup>, 202.768.562 habitantes, uma taxa de urbanização de 84,36% e densidade demográfica de 22,43 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2014). Apresenta clima geral quente e úmido ao longo de todo o território, com áreas secas e bastante áridas na Região Nordeste. A amplitude térmica e pluviosidade são resultantes dos seis climas ocorrentes no território brasileiro (Tropical, Tropical Atlântico, Tropical de Altitude, Subtropical, Equatorial e Semiárido), com variação de até 10°C nas temperaturas e de até 1000 mm/ano na pluviosidade (INMET, 2011; IBGE, 2014).

A paisagística brasileira é bastante diversa e apresenta grande parte das fitofisionomias conhecidas para a faixa tropical mundial. É composta por seis principais biomas, ou domínios, de paisagens e ecologias, a saber: Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (Ab'Sáber, 2003; Brasil, 2015). A Amazônia é o maior bioma brasileiro, caracterizado pelo clima úmido e quente com altas taxas de pluviosidade, apresenta diferentes fitofisionomias e ecossistemas, e várias áreas de endemismo, além de grande biodiversidade. O cerrado, segundo maior bioma brasileiro, constitui-se principalmente por áreas de savana e, assim como a Mata Atlântica, é considerado um *Hotspot* de Biodiversidade (Myers *et al.*, 2000; Ab'Sáber, 2003). A Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, apresenta temperaturas elevadas, baixa pluviosidade e áreas totalmente áridas. A fitofisionomia é composta basicamente por agreste e sertão, e os índices de desmatamento e degradação deste bioma são elevados (Ab'Sáber, 2003; Brasil, 2015).

Para as espécies de estudo deste trabalho, discute-se os limites que tais biomas podem exercer sobre sua distribuição e sobrevivência, além da ocorrência de exclusão competitiva entre estas espécies e as que habitam tais biomas (*Tityus obscurus* – na Amazônia, *Tityus trivittatus* – no Cerrado e *Rhopalurus rochai* – na Caatinga).

- *Espécies de estudo*

As espécies do estudo são *Tityus serrulatus* e *Tityus stigmurus*, ambas pertencentes ao complexo *Tityus stigmurus*, que abriga *Tityus aba*, *Tityus kuryi*, *Tityus martinpaechi* e *Tityus melici* (De Souza *et al.*, 2009). Esse complexo foi originalmente proposto por Mello-Leitão em 1945, e passou por diversas revisões, com sinonimização, inclusão e exclusão de espécies. A espécie *Tityus serrulatus* é a mais controversa do complexo, tendo sua validade sido questionada desde a descrição e, por fim, sinonimizada com duas outras espécies (*Tityus lamottei* e *Tityus acutidens*) por De Souza *et al.* (2009) e uma subespécie (*Tityus serrulatus vellardi*) por Lourenço (1981). Esta espécie teve registro de populações sexuadas citados por Lourenço e Cloudsley-Thompson (1999) e De Souza *et al.* (2009), e confirmadas, além de ampliadas, por Dos Santos *et al.* (2014).

*Tityus serrulatus* é considerada a espécie mais perigosa da América do Sul, devido a sua alta incidência e a gravidade dos acidentes que provoca, por vezes levando a vítima ao óbito (da faixa etária de 0-14 anos e a partir 60 anos), devido à toxicidade e letalidade do seu veneno. A peçonha é composta por uma mistura de frações proteicas neurotóxicas, que vão desde inibidores de canais sódio-potássio e hipotensores a inibidores de calicreína, proteínas alergênicas e potenciadores de bradicinina (Bordon *et al.*, 2015). A espécie é originalmente endêmica do Brasil, foi descrita para a cidade de Belo Horizonte, em Minas Gerais, mas tem sido registrada desde o Piauí até o Rio Grande do Sul (Pucca *et al.*, 2015). Camargo e Ricciardi (2000), registraram a ampliação desta espécie também na Argentina. É uma espécie essencialmente partenogenética (Matthiesen, 1962), com raríssimos registros de comunidades contendo machos (comunidade sexuada) (Lourenço e Cloudsley-Thompson, 1999; De Souza *et al.*, 2009; Dos Santos *et al.*, 2014), reproduzindo-se em todos os períodos do ano (Camargo & Ricciardi, 2000; Lourenço, 2008; Pucca *et al.*, 2015). O caráter distintivo da espécie é a presença de três gâmulos espiniformes no terceiro segmento metassomal, apresentando no quarto segmento, uma fileira de quatro a cinco grânulos espiniformes, em forma de serrilha, o que confere o epíteto específico da espécie. Sua coloração varia desde o amarelo-claro ao marrom-escuro (De Souza *et al.*, 2009) (Figuras 1A, B e C).

*Tityus stigmurus*, também endêmico do Brasil, ocorre na região Nordeste, exceto no estado do Maranhão, e no Sudeste, ao norte de Minas Gerais (Brazil & Porto, 2011). É popularmente conhecido por lacrau ou escorpião listrado, exatamente por apresentar uma faixa escura ao longo do dorso do mesossoma e duas laterais mais claras e curtas. Sua coloração em geral é amarelo-clara, com uma mancha escura em formato de triângulo invertido bem evidente no prossoma (Figuras 1D, E e F). Esta espécie foi descrita inicialmente para o estado de Pernambuco e os acidentes que provoca se assemelham muito aos provocados por *T. serrulatus*, porém com menor gravidade nos casos (Lira-da-Silva, Amorim & Brazil, 2000; Amorim *et al.*, 2002; Alves *et al.*, 2007; Lira-da-Silva *et al.*, 2009). Questionava-se a ocorrência de partenogênese quando Ross (2010) identificou esta estratégia reprodutiva, com registros de comunidades partenogênicas reproduzindo-se em todos os períodos do ano.





**Figura 1** – Prancha com fotos de (A e B) *Tityus serrulatus* - aspecto geral. (C) *Tityus serrulatus* - detalhe da serrilha. (D e E) *Tityus stigmurus* – aspecto geral. (F) *Tityus stigmurus* – detalhe das manchas no prossoma e mesossoma. Fotos: Rafael Martins.

- *Coleta de dados*

Foram analisados 2.629 registros de ocorrência de *Tityus serrulatus*, em 421 localidades diferentes, e 1.785 para *Tityus stigmurus*, em 97 localidades distintas. Os dados foram obtidos através de consulta a coleções aracnológicas do Brasil realizadas entre os anos de 2009 e 2014 (Tabela 1), com o apoio financeiro do Projeto *Escorpiões e Escorpionismo do Nordeste do Brasil*, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB nº 5767/2009), com vigência de 2009 a 2012.

**Tabela 1** - Instituições cujas coleções aracnológicas foram consultadas, por estado do Brasil.

Estado	Instituição	Nº de espécimes	
		<i>Tityus serrulatus</i>	<i>Tityus stigmurus</i>
Rio Grande do Norte	Centro de Controle de Zoonoses, Secretaria Municipal de Saúde de Natal, Rio Grande do Norte (CCZ/RN)	0	62
Paraíba	Centro de Assistência Toxicológica, Secretaria de Saúde da Paraíba (CEATOX/PB)	0	373
Sergipe	Laboratório Central de Saúde Pública de Sergipe - Instituto Parreira Horta, Secretaria de Saúde de Sergipe (LACEN/SE)	0	14
Pernambuco	Centro de Assistência Toxicológica, Secretaria de Saúde de Pernambuco (CEATOX/PE)	0	164
Bahia	Centro de Informação Antiveneno, Secretaria de Saúde da Bahia (CIAVE/SESAB/BA)	419	280
	Museu de História Natural da Bahia – MHNBA/Universidade Federal da Bahia (MHB/UFBA)	1033	295
	Núcleo de Ofiologia e Animais Peçonhentos da Bahia/Universidade Federal da Bahia (NOAP/UFBA)	786	486
	Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB	0	09
Rio de Janeiro	Universidade Federal de Pernambuco/UFPE	0	4
	Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (MNUFRJ)	45	22
São Paulo	Instituto Butantan (IB)	311	56
	Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP)	35	20
<b>Total</b>		<b>2.629</b>	<b>1.785</b>

- *Modelagem de nicho ecológico*

As variáveis bioclimáticas utilizadas na análise foram obtidas através do site *WorldClim* (Global Climate Data, disponível em <http://www.worldclim.org>), todas em resolução de 2,5' (pixels de aprox. 4,5Km). Estas foram recortadas para a América do Sul através do software R <sup>3.1.3</sup>. Inicialmente, a modelagem foi gerada utilizando as 19 variáveis bioclimáticas importadas (Tabela 2). Entretanto, sabe-se que a maioria

destas variáveis está fortemente correlacionada entre si, o que pode gerar um viés para o modelo. Assim, foi realizada uma análise de fatores, através do software R, para selecionar as variáveis com menor índice de correlação e realizar a modelagem apenas com estas variáveis. De acordo com o resultado do teste, as variáveis menos correlacionadas são: temperatura média anual (BIO 01), variação de temperatura anual (BIO 07), precipitação no mês mais chuvoso (BIO 13), precipitação no mês mais seco (BIO 14) e precipitação no trimestre mais chuvoso (BIO 16), o que está de acordo com Oliveira *et al.* (2014) e Terribile *et al.* (2012) para a região Neotropical.

**Tabela 2** - Variáveis bioclimáticas fornecidas pelo *Worldclim*.

<b>Código das variáveis</b>	<b>Descrição das variáveis</b>
BIO 1	Annual Mean Temperature / Temperatura média anual
BIO 2	Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp)) / Variação média de temperatura diurna (média mensal (temp. máx – temp mín))
BIO 3	Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100) / Isothermalidade
BIO 4	Temperature Seasonality (standard deviation *100) / Sazonalidade da temperatura (desvio padrão *100)
BIO 5	Max Temperature of Warmest Month / Temperatura máxima do mês mais quente
BIO 6	Min Temperature of Coldest Month / Temperatura mínima do mês mais frio
BIO 7	Temperature Annual Range (BIO5-BIO6) / Variação de temperatura anual
BIO 8	Mean Temperature of Wettest Quarter / Temperatura média do trimestre mais chuvoso
BIO 9	Mean Temperature of Driest Quarter / Temperatura média do trimestre mais seco
BIO 10	Mean Temperature of Warmest Quarter / Temperatura média do trimestre mais quente
BIO 11	Mean Temperature of Coldest Quarter / Temperatura média do trimestre mais frio
BIO 12	Annual Precipitation / Precipitação anual
BIO 13	Precipitation of Wettest Month / Precipitação do mês mais chuvoso
BIO 14	Precipitation of Driest Month / Precipitação do mês mais seco

BIO 15	Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation) / Sazonalidade da precipitação (coeficiente de variação)
BIO 16	Precipitation of Wettest Quarter / Precipitação do trimestre mais chuvoso
BIO 17	Precipitation of Driest Quarter / Precipitação do trimestre mais seco
BIO 18	Precipitation of Warmest Quarter / Precipitação do trimestre mais quente
BIO 19	Precipitation of Coldest Quarter / Precipitação do trimestre mais frio

---

As variáveis ambientais para presente e futuro foram as mesmas. Entretanto, para realizar a modelagem preditiva de nicho ecológico, foi necessário basear-se em cenários que idealizam as condições bioclimáticas da Terra para o futuro. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC/ONU) tornou-se, a partir do ano de 2007, uma referência em assuntos climáticos internacionais, publicando cinco relatórios a respeito das condições climáticas mundiais e de como o homem contribui para estas condições (IPCC, 2015). Estes relatórios são traçados com base em quatro cenários distintos de emissão de gases do efeito estufa para o futuro, chamados Vias de Concentrações Representativas (RCP). A montagem dos cenários de saturação climática é feita com base em grandes simulações da Terra, chamadas modelos, onde são incluídas variáveis como vento, oceanos e florestas, além das variáveis bioclimáticas convencionais (IPCC, 2015; Worldclim, 2015). Alimentando-os com dados sobre a taxa de emissões de gases de efeito estufa, estes modelos conseguem estimar como o clima vai variar nas próximas décadas ou séculos. Para o presente estudo, foi utilizado o cenário criado a partir do modelo japonês MIROC-5, que prevê um clima mais chuvoso para a Terra a partir da década de 2040 (Watanabe, 2011). Assim, cada um destes cenários descreve a projeção climática com base na emissão de gases do efeito estufa durante os anos vindouros, e estabelece um máximo de saturação prevista para o ano de 2100 (ano limítrofe para o século corrente). Estes cenários foram nomeados de acordo com o máximo de saturação admitido por eles até o ano citado (RCP 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5 W/m<sup>2</sup>), e cada um possui um período considerado como o pico de saturação desses gases, de onde eles então declinam (Worldclim, 2015). Neste estudo, foi escolhido o RCP 6.0, que admite uma saturação máxima de 60% de CO<sup>2</sup> no período entre 2060 a 2080. Como as projeções foram feitas para o futuro mais distante possível, foi ainda

utilizado o cenário para o ano de 2070 (ano mais próximo ao final do século com projeção bioclimática já estabelecida).

A modelagem de nicho ecológico foi realizada através do software MAXCENT® (Phillips, Anderson & Schapire, 2006; versão 3.3.3e) para o presente e para o futuro. O Maxent baseia-se no princípio da máxima entropia, e propõe áreas de distribuição potencial da espécie (nicho fundamental) com base em dados do nicho realizado da mesma. O resultado é um mapa de distribuição georreferenciado que informa a probabilidade de ocorrência da espécie em determinada área que contenha as condições básicas de manutenção para esta mesma espécie. As avaliações deste método têm-se mostrado bastante satisfatórias em relação à sua eficiência para a modelagem preditiva de espécies (Elith *et al.*, 2006; Hernandez *et al.*, 2006; Mateo *et al.*, 2010).

Para maior credibilidade dos modelos gerados, foi realizado o teste de AUC (Area Under the Curve/ Área sob a Curva), que estima a acurácia do modelo. Este teste foi realizado com 75% dos dados originais de ocorrência das espécies. A medida de acurácia mensura o poder preditivo do modelo com base nos dados reais de distribuição da espécie, e varia entre 0,0 e 0,5 e entre 0,5 e 1,0, para modelos randômicos e totalmente previstos, respectivamente. A medida de acurácia remete à validade dos dados apresentados (Swets, 1988). Quanto mais acurado um modelo, mais próximo do real ele está. Assim, valores de AUC superiores a 0,5 denotam boa acurácia do modelo (Pearson, 2007; Phillips *et al.*, 2006).

Foi realizada ainda a análise de Jackknife para estimar a variância e a tendência de cada variável do estudo (Efron, 1980). O método baseia-se em estimar a variável que melhor explica o modelo, através de sucessivas análises onde se retira cada variável, uma a uma, e observa-se o modelo resultante. Este método realiza ainda a análise complementar, gerando modelos com apenas uma variável por vez. A variável que, sozinha, seja responsável pela maior percentagem de influência é a que deve explicar melhor o modelo apresentado para os dados analisados.

## Resultados

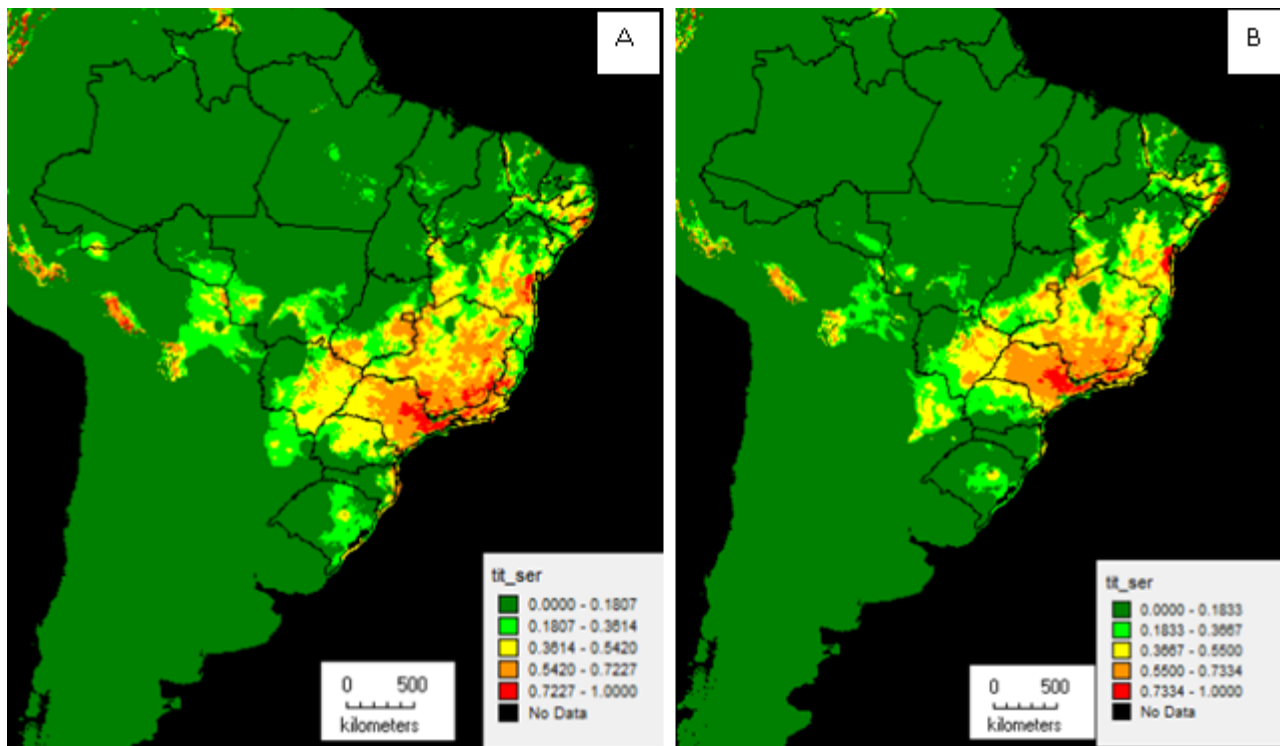
A distribuição original de *T. serrulatus* e *T. stigmurus* foi plotada em um mapa do território brasileiro, para fins de conhecimento sobre sua distribuição real (nicho realizado).

A figura 2 mostra a distribuição dos registros de *T. serrulatus* nos estados da Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Bahia, Tocantins, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul (um único registro na região dos Pampas). Esta distribuição abrange áreas de Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado.



**Figura 2** - Distribuição de registro de ocorrência de *Tityus serrulatus* no Brasil.

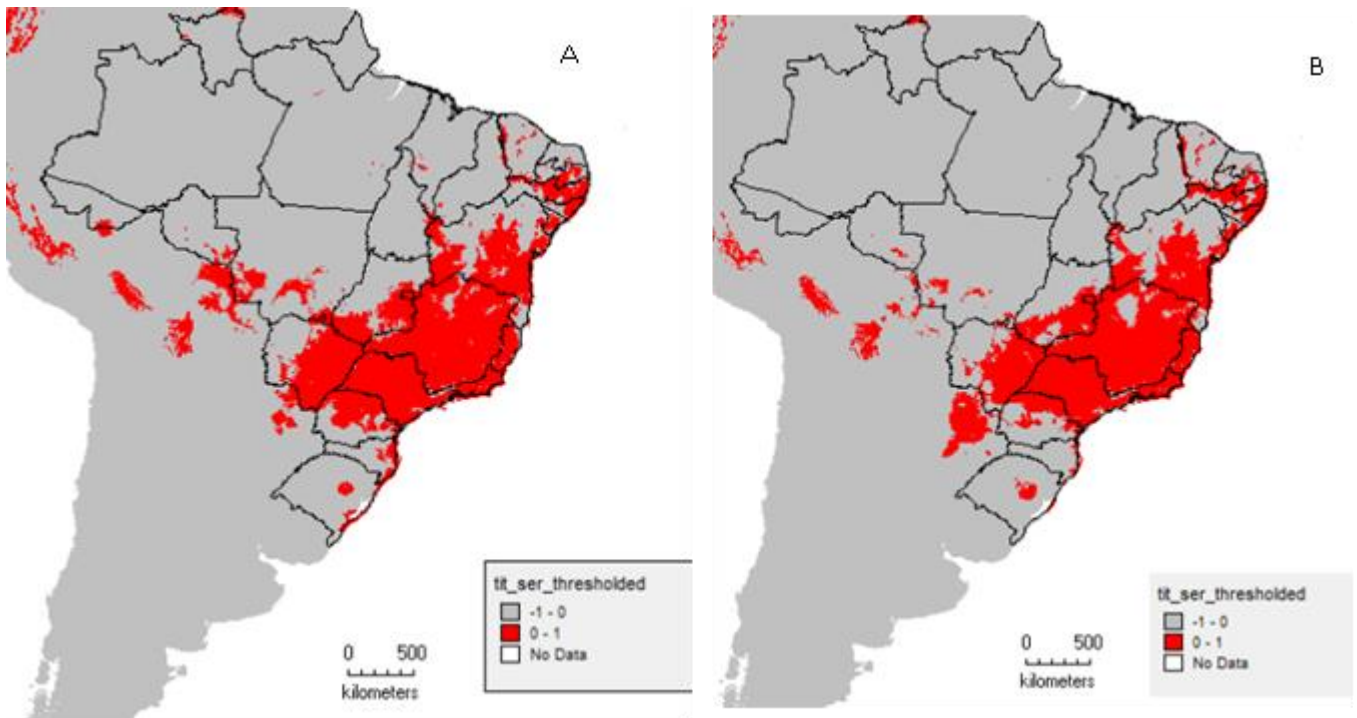
A modelagem de nicho ecológico para *T. serrulatus* mostrou que as áreas com maior probabilidade de ocorrência da espécie estão localizadas em região de Mata Atlântica. Além disso, mostrou uma diminuição na área de provável ocorrência no futuro - 2070 (áreas de cores mais quentes) e ausência de novas áreas de provável ocorrência de valor significativo (Figura 3).



**Figura 3** - Modelagem de nicho ecológico de *Tityus serrulatus* no Brasil. (A) presente (1950-2000); (B) futuro (2070).

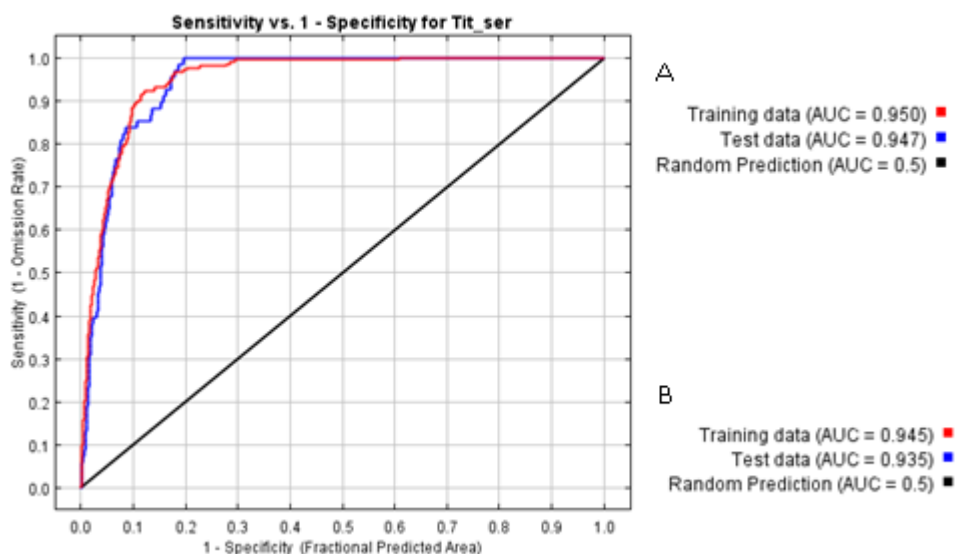
O modelo *thresholded* (presença e ausência) estabelece um limiar, onde a cor quente indica alta probabilidade de ocorrência da espécie, enquanto a cor fria denota probabilidade nula, gerado a partir da sobreposição dos intervalos de ocorrência. Assim, o limiar de probabilidade nula varia entre  $-1 - 0$  e o limiar de alta probabilidade de ocorrência entre  $0 - 1$ . Segundo este modelo há uma redução na área de ocorrência de *T. serrulatus* para a predição (2070) em áreas de Cerrado, ao centro do mapa, e em uma parte da Mata Atlântica (Figura 4), concordando com os dados da modelagem. Entretanto, estes resultados devem ser interpretados com cautela, já que se sabe que os modelos de limiar extrapolam as áreas de ocorrência por incluir no limiar os valores de probabilidade abaixo de 0,5, que não são considerados significativos.





**Figura 4** - Mapas de limiar (*thresholded*) para *Tityus serrulatus*. (A) presente (1950-2000); (B) futuro (2070).

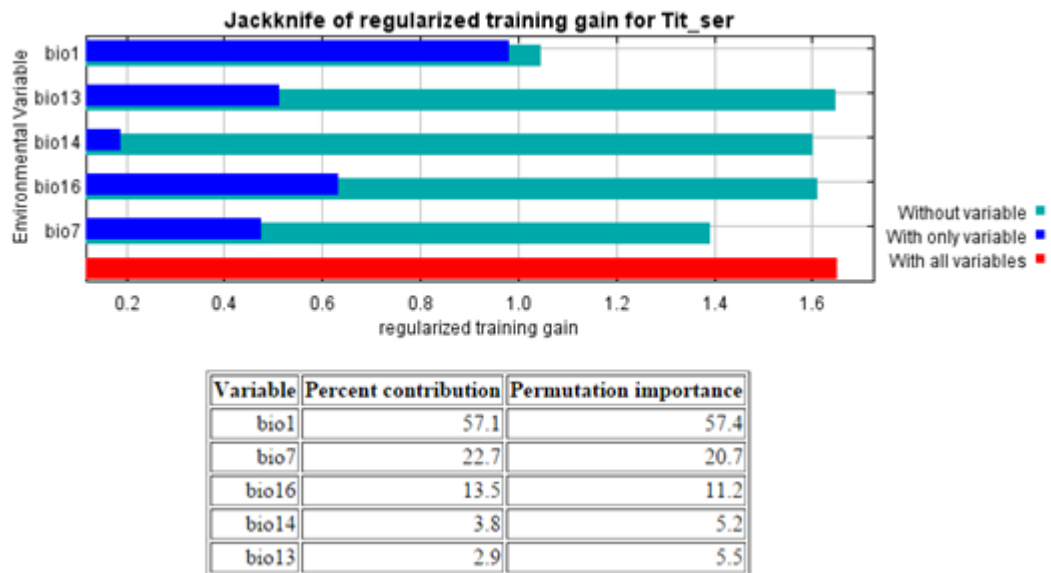
A figura 5, relativa à área sob a curva, mostra que o modelo é adequado e fornece boas respostas para a predição das áreas de ocorrência no presente e futuro. Quanto mais se afastam as curvas do modelo da reta de randomização (mais próximas de 1), melhor a resposta do modelo aos dados da análise, o que indica que os resultados são mais próximos do real. Os valores de acurácia para os modelos atual e preditivo são muito próximos.



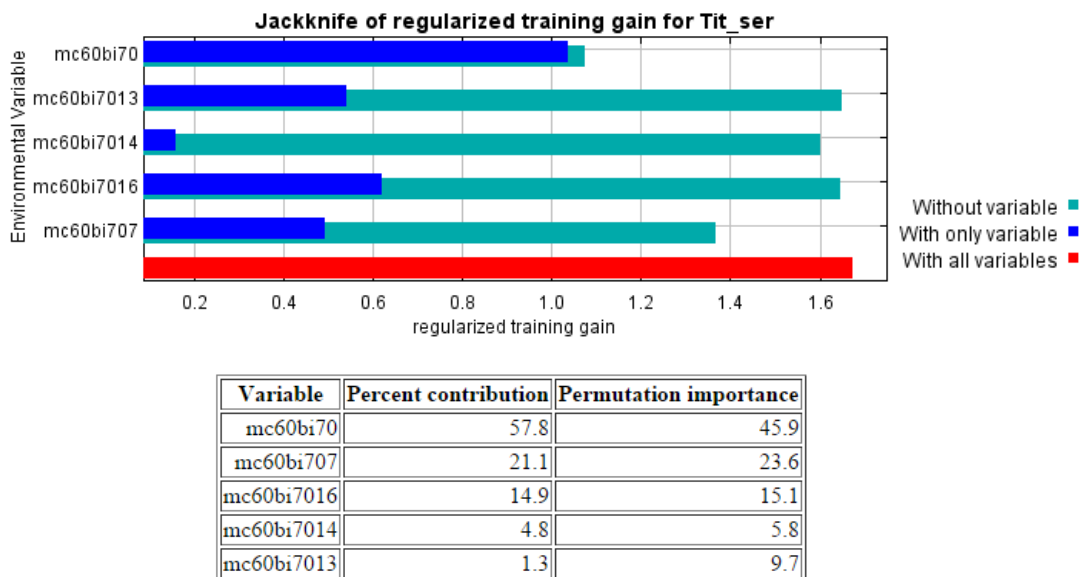
**Figura 5** - Gráfico de área sob a curva, demonstrando acurácia do modelo. (A) Valores de AUC para o presente (1950-2000) e (B) para o futuro (2070).



A variável bioclimática BIO1 (temperatura média anual) foi a que mais contribuiu para de *T. serrulatus* nas áreas preditas, segundo indicam os resultados do Jackknife (Figura 6). Esta análise nos mostra duas estimativas, o percentual de ganho que cada variável traz ao modelo e o resultado da reavaliação do modelo a cada permutação entre as variáveis e a consequente queda nos níveis de acurácia. Para o modelo preditivo da espécie, esta variável também foi a que mais contribuiu, confirmando os resultados do Jackknife para o presente e para o futuro (Figura 7).



**Figura 6** - Análise de Jackknife e de contribuição de variáveis para o modelo atual de *Tityus serrulatus* (ano de 1950-2000).



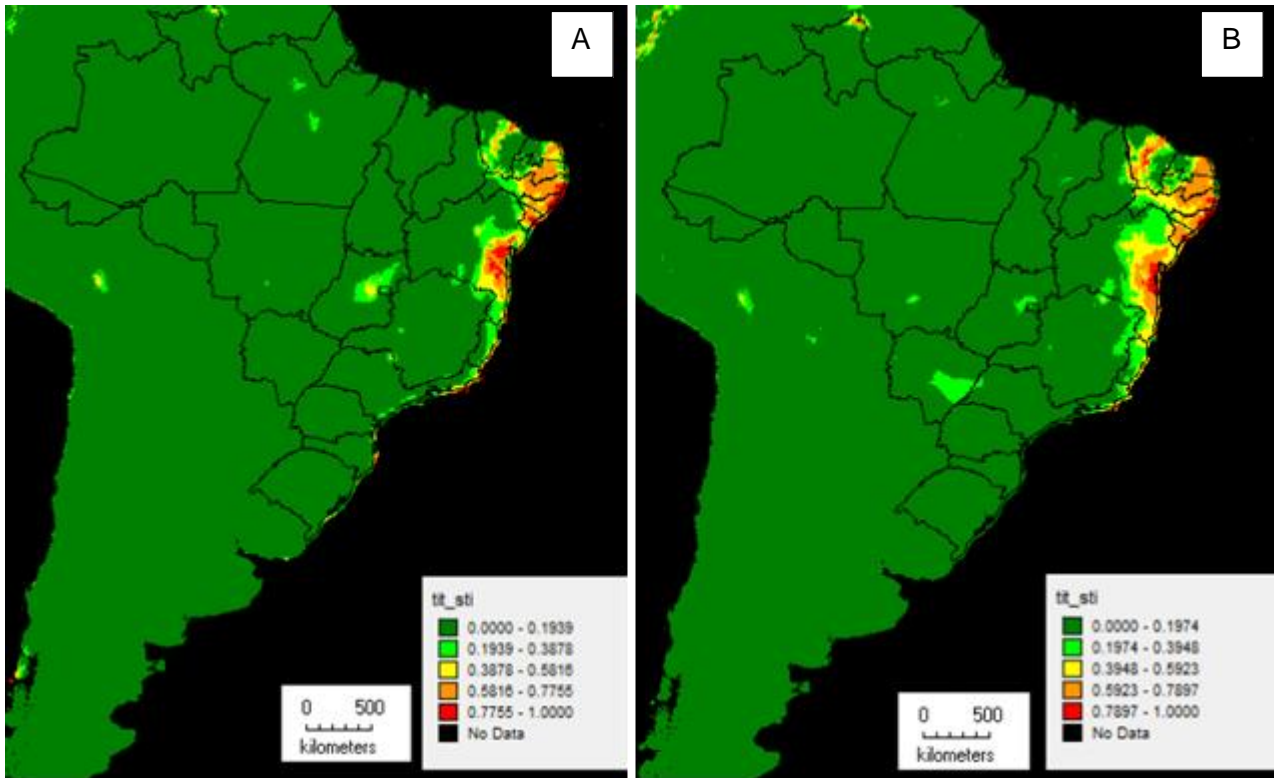
**Figura 7** - Análise de Jackknife e de contribuição de variáveis para o modelo futuro de *Tityus serrulatus* (ano de 2070).

A distribuição de *Tityus stigmurus* ocorre na região Nordeste, do Piauí à Bahia, com ampliação da sua distribuição para a o Sudeste, nos estados de Rio de Janeiro e São Paulo (Figura 8). Esta distribuição ocupa áreas de domínio de Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado.



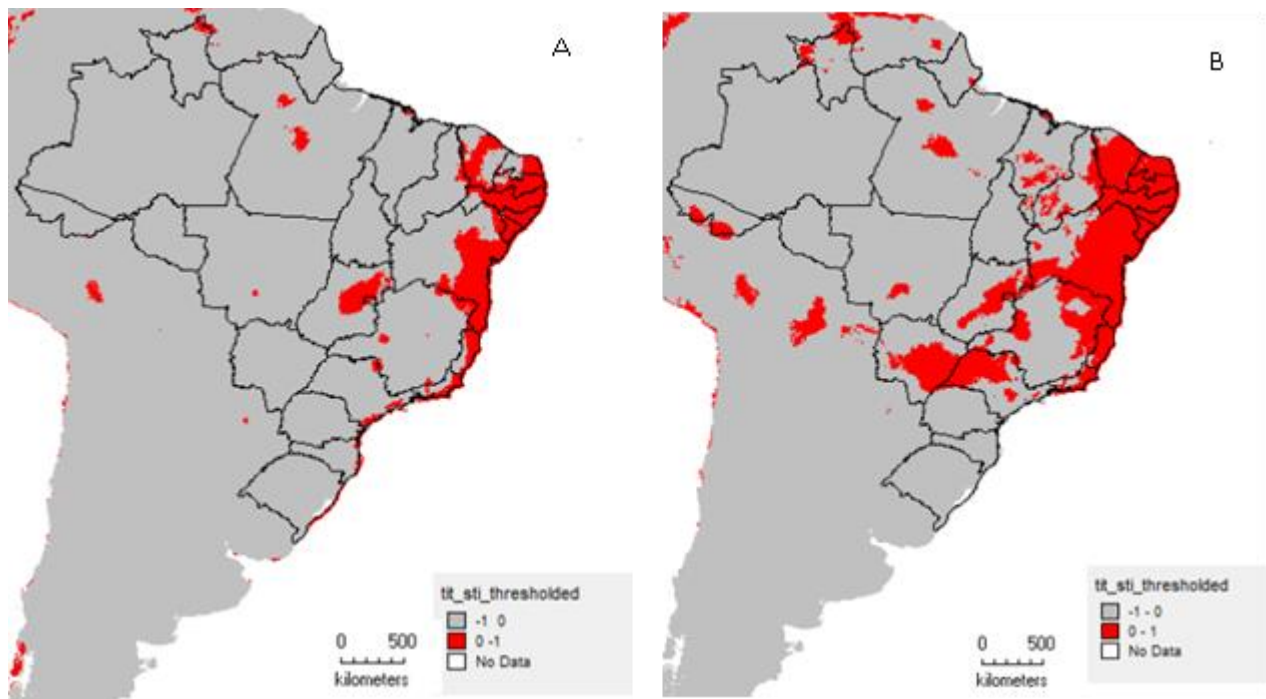
**Figura 8** – Distribuição de registro de ocorrência de *Tityus stigmurus* no Brasil.

A modelagem de nicho ecológico para *T. stigmurus* também mostrou que as áreas com maior probabilidade de ocorrência estão localizadas em região de Mata Atlântica, assim como para *T. serrulatus*. Os modelos de distribuição atual e preditivo mostraram uma discreta expansão de uma área de provável ocorrência na região de Caatinga, no Ceará, bem como diminuição de área de ocorrência em áreas de domínio da Mata Atlântica ao longo de Sergipe e Bahia, no Nordeste, e de Santa Catarina (Sul) e Rio de Janeiro (Sudeste) (Figura 9).



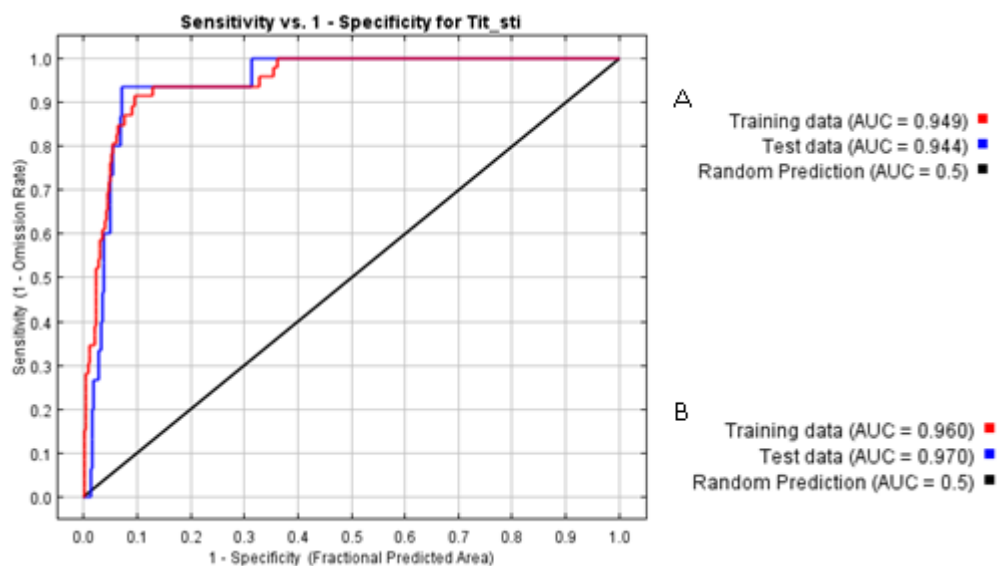
**Figura 9** - Modelagem de nicho ecológico de *Tityus stigmurus*. (A) presente (1950-2000); (B) futuro (2070).

Os modelos de presença e ausência para *T. stigmurus* indicaram maior área de provável ocorrência da espécie na Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado, tanto na modelagem atual quanto para o modelo de predição (Figura 10). Este resultado, conforme já citado, deve ser interpretado com cautela, uma vez que os modelos de limiar extrapolam as áreas de ocorrência por incluir no limiar os valores de probabilidade abaixo de 0,5, que não são considerados significativos.



**Figura 10** - Mapas de limiar (*thresholded*) para *Tityus stigmurus*. (A) presente (1950-2000); (B) futuro (2070).

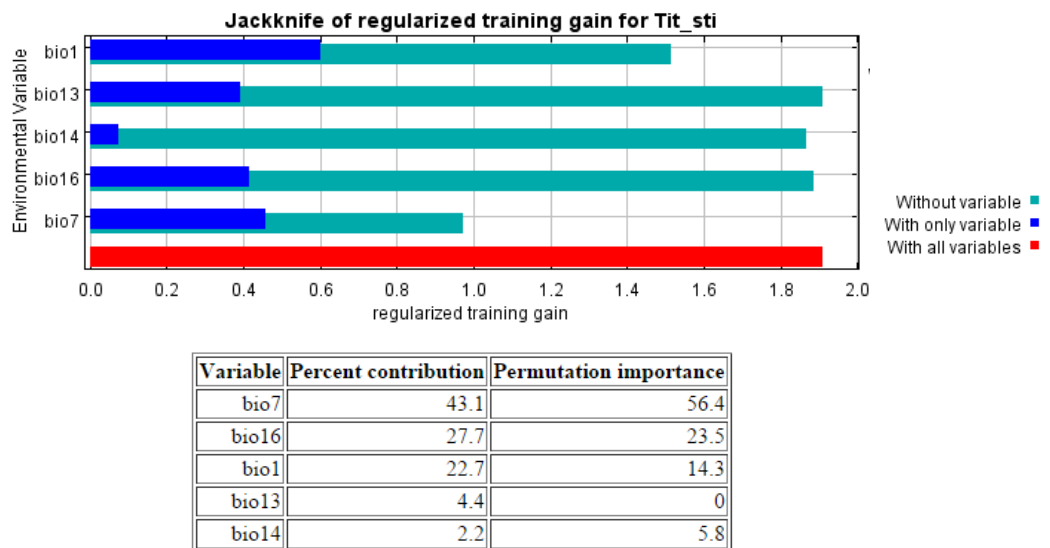
A figura 11, relativa à área sob a curva para *Tityus stigmurus*, mostra altos valores de acurácia para o modelo presente e ainda mais para o modelo futuro.



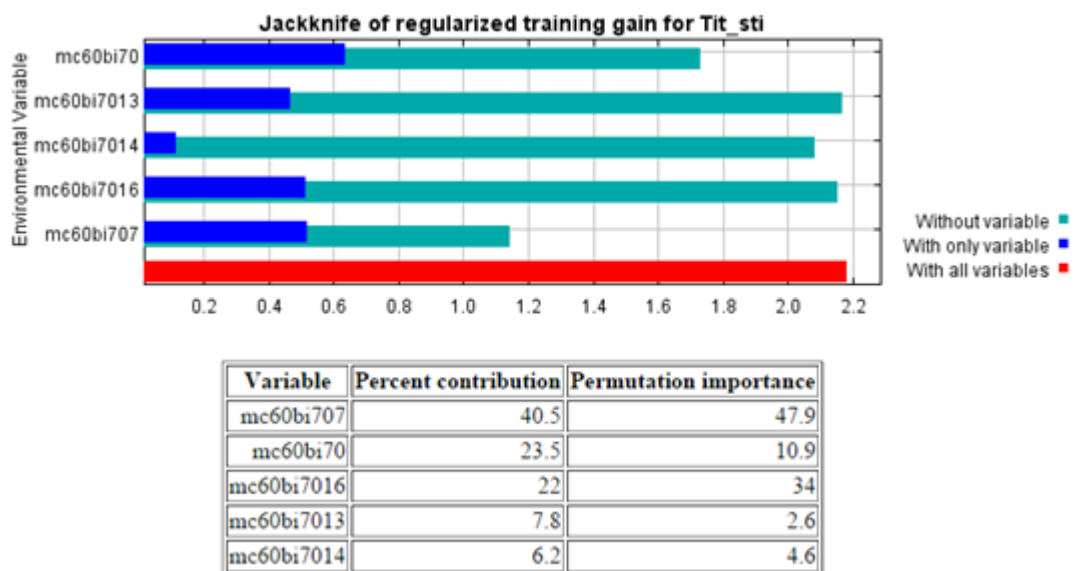
**Figura 11** – Gráfico de área sob a curva, demonstrando acurácia do modelo. (A) Valores de AUC para o presente (1950-2000) e (B) para o futuro (2070).

Os resultados encontrados pela análise de Jackknife para o modelo de *T. stigmurus* são incongruentes, apontando as variáveis bioclimáticas BIO1 (temperatura média anual) e BIO7 (variação de temperatura anual) como as que mais contribuíram para

a distribuição da espécie. Enquanto o mecanismo que gera o gráfico indica a variável bioclimática BIO1 (temperatura média anual) como a mais importante para o modelo, a tabela diz que a variável BIO7 (variação de temperatura anual) é quem contribui mais para o modelo (Figura 12). As análises de Jackknife para o futuro mostram a mesma incongruência entre gráfico e tabela, apontando as duas variáveis: BIO1 e BIO7 (Figura 13).

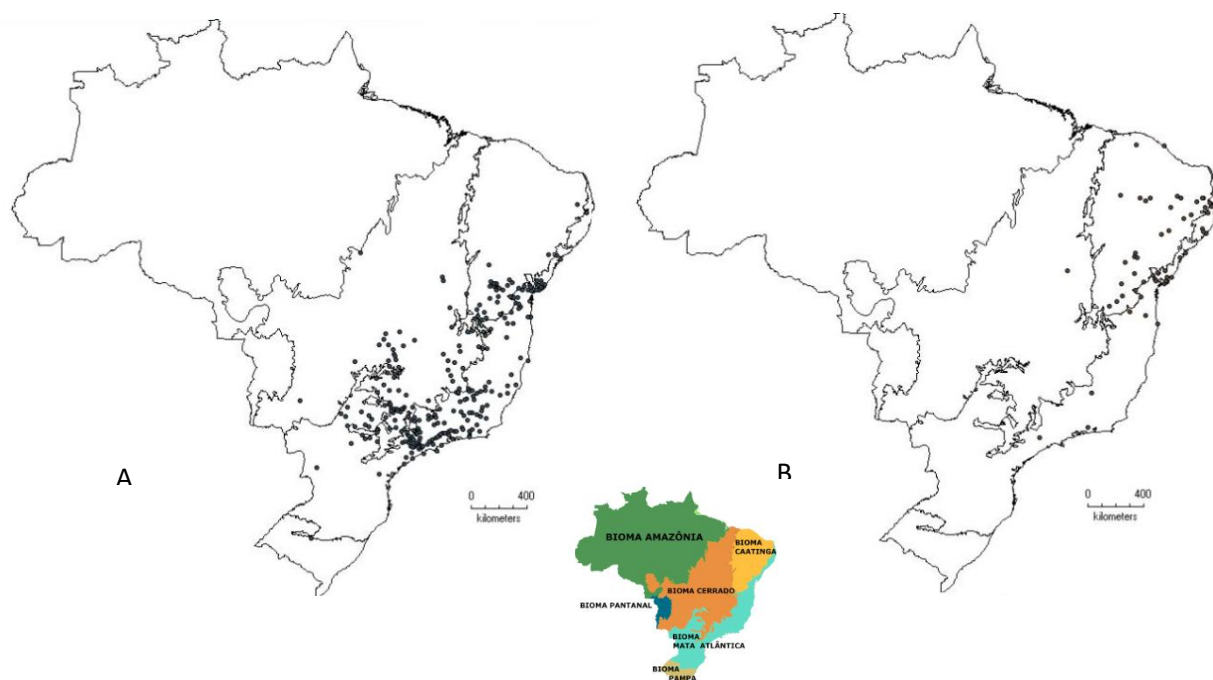


**Figura 12** - Análise de Jackknife e de contribuição de variáveis para o modelo atual de *Tityus stigmurus* (anos entre 1950-2000).



**Figura 13** - Análise de Jackknife e de contribuição de variáveis para o modelo futuro de *Tityus stigmurus* (ano de 2070).

A distribuição de *T. serrulatus* e *T. stigmurus* também foi plotada sobre um shape de biomas brasileiros (Figura 14). Os resultados mostram que ambas as espécies ocorrem nos mesmos biomas: Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado, com um registro isolado de *T. serrulatus* para o Pampa. Entretanto, a região onde ambas as espécies coocorrem é a Mata Atlântica.



**Figura 14** - Distribuição de *Tityus serrulatus* (A) e *Tityus stigmurus* (B) nos biomas brasileiros. Fonte: IBGE.

O mapa de biomas de *T. serrulatus* e *T. stigmurus* foi sobreposto aos modelos gerados, com fins de observarmos se a distribuição e as áreas de provável ocorrência das espécies seguem um padrão de acordo com algum bioma. Os resultados indicaram uma forte influência da Mata Atlântica na distribuição das espécies.

*T. serrulatus* tem a sua distribuição concentrada em área de Mata Atlântica, com pequenas áreas de probabilidade de ocorrência no Cerrado, enquanto *T. stigmurus* possui maior probabilidade de ocorrência nas regiões de Mata Atlântica e Caatinga (Figuras 15 e 16). Este modelo também mostrou uma sobreposição de áreas de ocorrência das espécies nas áreas de Mata Atlântica, mas com algumas especificidades, onde *T. serrulatus* distribui-se por quase toda a extensão deste bioma, com maior ocorrência na sua porção sul, em regiões onde ocorrem a maior

variação de temperatura e registro de temperaturas mais baixas, e *T. stigmurus* concentra maior registro na porção norte, onde há menor variação e temperaturas mais elevadas. Os limites de ocorrência para *Tityus serrulatus* são na Paraíba (São José da Mata) ao norte, Mato Grosso do Sul (Campo Grande) a oeste e Rio Grande do Sul (Porto Alegre) ao sul. Para *Tityus stigmurus*, os limites de ocorrência são Piauí (Picos) ao norte, Bahia (Barreiras) a oeste e São Paulo (Cajamar) ao sul.

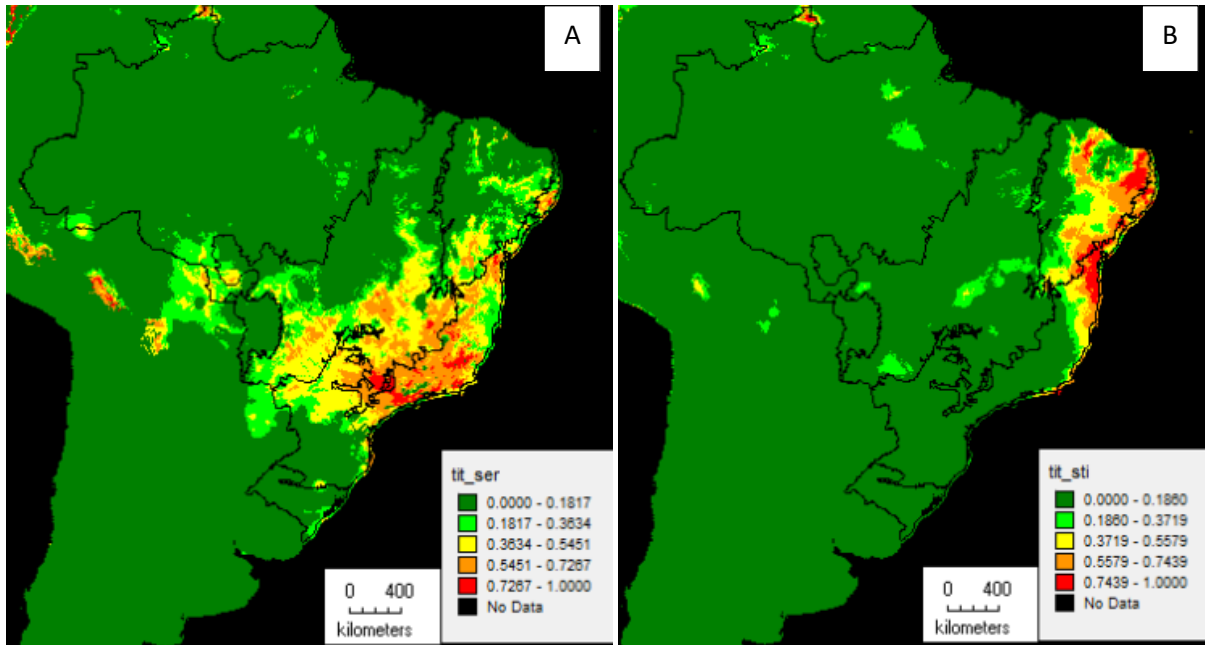


Figura 15 - Modelos de nicho atuais com distribuição por biomas brasileiros. (A) *Tityus serrulatus*; (B) *Tityus stigmurus*.

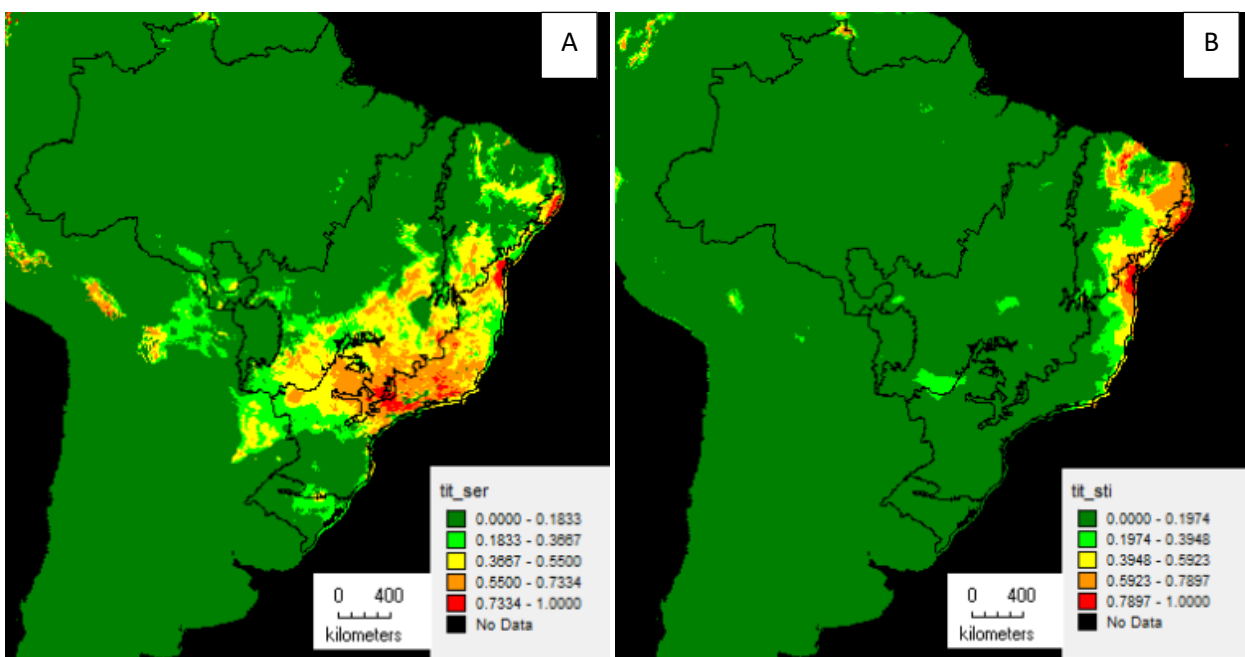


Figura 16 - Modelos de nicho do período futuro (2070) com distribuição por biomas brasileiros. (A) *Tityus serrulatus*; (B) *Tityus stigmurus*.



## Discussão

Lourenço (2015) e Stockmann (2015) referem que são muito diversos os ambientes onde há registro de ocorrência de escorpiões, desde regiões desérticas e com baixa umidade até áreas de clima temperado e sub-polar. No entanto, algumas espécies podem se adaptar e colonizar rapidamente áreas degradadas e antropizadas, principalmente nas regiões tropicais, em locais com um mínimo de vegetação, e se proliferar amplamente em cidades, por ter populações partenogenéticas e ecologicamente “oportunistas”, invasoras, colonizadoras, dominantes, de grande aptidão dispersiva, com alta capacidade reprodutiva, sendo necessário apenas um indivíduo para iniciar uma colônia (Camargo & Ricciardi, 2000; Brazil *et al.*, 2009).

A distribuição geopolítica de *Tityus serrulatus* no Brasil tem sido reportada para os estados de Rondônia, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Sergipe, Bahia, Goiás, Mato Grosso, Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Lourenço & Cloudsley-Thompson 1996, 1999; Torres *et al.*, 2002; Bortoluzzi, Querol e Querol, 2007; Brazil *et al.*, 2009; De Souza *et al.*, 2009; Almeida, 2010; Pucca *et al.*, 2015). Nosso trabalho amplia a distribuição desta espécie para os estados do Pernambuco, Paraíba, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul e Tocantins. Nossos registros indicam que o limite mais ao norte do Brasil da espécie é São José da Mata (Paraíba), mais ao sul é Porto Alegre (Rio Grande do Sul) e mais a Oeste é Campo Grande (Mato Grosso do Sul). Não podemos descartar a possibilidade desta espécie estar sendo introduzida, através da malha rodoviária e grande fluxo desta via no Brasil, com o carregamento de diversos tipos de materiais, principalmente de construção. Lourenço & Eickstedt (2009), relatam a introdução desta espécie para os estados de Rondônia e Paraná; Torres *et al.* (2002) relatam um acidente em Porto Alegre (Rio Grande do Sul), pela manipulação de produtos provenientes de outros estados do Brasil; e Bortoluzzi *et al.* (2007), sugerem que o registro de dois exemplares em Uruguaiana (Rio Grande do Sul), nas instalações de uma empresa transportadora, pode ter ocorrido devido à atuação desta transportadora em vários estados do País.

*Tityus stigmurus* tem sido registrado para o Nordeste (exceto o Maranhão), e Sudeste, no estado de Minas Gerais (Brazil & Porto, 2011; Lourenço & Cloudsley-



Thompson, 1996; De Souza *et al.*, 2009; Almeida, 2010; Pucca *et al.*, 2015). Este artigo amplia a distribuição geopolítica desta espécie para os estados de Rio de Janeiro e São Paulo. Nossos registros indicam que o limite mais ao norte do Brasil da espécie é Picos (Piauí), mais ao sul é Cajamar (São Paulo) e mais a oeste é Barreiras (Bahia).

Segundo Stockmann (2015), *T. serrulatus* e *T. stigmurus* são espécies de estratégia ecológica do tipo 'r', portanto, oportunistas, que rapidamente colonizam o ambiente e têm ciclos de reprodução mais curtos e frequentes. Apesar da modificação do nicho habitual das espécies em áreas de intensa antropização, isso não constitui um problema, já que ambas são consideradas sinantrópicas e quando encontram condições adequadas possuem grande capacidade de adaptação, favorecendo assim sua expansão.

Essas observações concordam com as características biogeográficas citadas por Lourenço (1986) para a família Buthidae, a qual pertencem. Esta é uma das famílias mais bem representadas na América do Sul, por ser considerada altamente plástica e capaz de viver e adaptar-se a quase todos os tipos de ambiente e fitofisionomias. Lourenço (1986) destaca ainda o polimorfismo apresentado pela vegetação do continente, que cria diversos habitats favoráveis à ocorrência e diversidade escorpionica, principalmente na região dos Andes.

Os resultados de distribuição e da modelagem de nicho ecológico são congruentes e os altos valores de acurácia confirmam a validade destes modelos. Entretanto, estes resultados devem ser interpretados com cautela, pois tanto a distribuição real é baseada no registro de ocorrência destas espécies, quanto os modelos gerados são baseados apenas em variáveis abióticas e portanto, limitados. No primeiro caso, os dados foram provenientes de coleções aracnológicas onde há grupos de pesquisa ou profissionais especializados no grupo. A amostragem e registro nestas coleções são naturalmente maiores, implicando em que nos locais onde não há registro o animal não seja necessariamente porque o animal não ocorre. No segundo caso, se tomarmos em conta os diversos conceitos de nicho ecológico, a modelagem limitou-se a realizar um estudo do chamado 'nichos Grinnelliano' (Sóberon, 2007), enquanto diversos fatores podem influenciar a sobrevivência da espécie em determinada área, não apenas as condições e variáveis abióticas. Esses vieses, entretanto, não

invalidam a importância que trabalhos de modelagem de nicho ecológico têm quanto a prever áreas com condições de abrigar as espécies. Para os escorpiões, este trabalho pode ser considerado pioneiro. Segundo Buckley *et al.*, (2009), Beatty & Provan (2010) e Lawson (2010), mecanismos de modelagem de nicho ecológico têm sido usados para inferências filogenéticas, identificação de barreiras geográficas e refúgios glaciais e mesmo para identificar ou separar populações geneticamente distintas num processo de especiação simpátrica. Os modelos de nicho ecológico servem ainda para cobrir a lacuna de áreas não amostradas, mas que, no entanto, apresentam as condições básicas para ocorrência da espécie.

Os resultados mostram a distribuição de *T. serrulatus* e *T. stigmurus* nos mesmos biomas: Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado. A modelagem de nicho indica altas probabilidades de ocorrência destas espécies em áreas sob o domínio da Mata Atlântica, sugerindo que este bioma exerce forte influência sobre a sua sobrevivência. Entretanto, este dado sofre com o viés das coleções pesquisadas. Segundo Brazil & Porto (2011), 28 grupos de pesquisa no país trabalham com pelo menos uma linha de pesquisa a respeito de escorpiões. Os dois grupos mais ativos e que mais publicam sobre este tema estão localizados na Bahia e em São Paulo, ambos em áreas de Mata Atlântica. Assim, pode-se inferir que parte dessa influência possa se dever a maior amostragem dessa área, em detrimento das demais.

*T. serrulatus* é considerada uma espécie típica de ambientes de mata de transição e matas ombrófilas (Lourenço & Cloudsley-Thompson, 1999). Sua ocorrência mostrou-se mais fortemente relacionada à variável bioclimática temperatura média anual, tanto para a modelagem atual quanto para a futura. O mecanismo de análise de contribuição das variáveis indica que ela é responsável, sozinha, por 57,1% de influência sobre a probabilidade de ocorrência da espécie. Na modelagem futura, esta mesma variável responde por 57,8% da probabilidade de ocorrência. Dados de história natural mostram que esta espécie habita áreas de clima quente e úmido, reproduzindo-se durante todo o ano (Brazil *et al.*, 2009; Lourenço & Eickstedt, 2009; Brazil & Lira-Da-Silva, 2010; Brazil & Porto, 2010). A Mata Atlântica oferece exatamente estas condições e, mesmo em regiões antropizadas deste bioma, não há grande variação nas médias anuais de temperatura. Entretanto, parece haver um limite suportável na temperatura para esta espécie. Esta inferência baseia-se na

forma como a espécie tende a desaparecer quando nos aproximamos de regiões com temperaturas muito elevadas, como na Caatinga e na porção superior da Mata Atlântica. Apesar disso, *T. serrulatus* tem maior ocorrência na porção sul da Mata Atlântica, onde pode ocorrer maior variação de temperatura ao longo das estações do ano e registro de temperaturas mais baixas no inverno. Na Bahia, Brazil *et al.* (2009) relatam que essa espécie apresenta ampla distribuição, com predominância em ambientes florestados com cobertura vegetal de Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Floresta Ombrófila Densa, além de Cerrado, Caatinga e regiões de tensão ecológica e com influências fluvio-marinhas (Restinga), com distribuição vertical de 8 a 1.027m.

Apesar da incongruência observada nos dois mecanismos de análise de contribuição das variáveis, a ocorrência de *T. stigmurus* foi explicada pela variável bioclimática variação anual de temperatura, quando o decaimento dos valores de acurácia foi mais expressivo. A análise de contribuição de variáveis também mostrou que a variável variação anual de temperatura foi a que mais contribuiu para explicar o modelo (43,1% para o modelo atual e 40,5% para a modelagem futura). Se associarmos estes resultados aos dados da distribuição original que mostraram a ocorrência desta espécie principalmente em áreas de Caatinga e nas regiões mais elevadas de Mata Atlântica, onde a temperatura é mais elevada e constante, e que as maiores probabilidades de ocorrência nos modelos gerados também são para estas áreas, podemos inferir que a variação de temperatura é realmente o fator que mais influencia a ocorrência de *T. stigmurus*. Provavelmente este seja o fator limitante para a ocorrência desta espécie em áreas onde as oscilações de temperatura são constantes, ou mesmo onde a temperatura é mais baixa, diferente com o que acontece com *T. serrulatus*. A maior probabilidade de ocorrência na Caatinga nos modelos gerados em nosso trabalho são discordantes dos dados de ocorrência de *T. stigmurus* assinalados para a Bahia, predominantemente em ambientes florestados e em altitudes que variaram entre 5 a 1.268m (Brazil *et al.*, 2009).

*T. serrulatus* e *T. stigmurus* são animais de hábitos sinantrópicos, com altas taxas de proliferação e colonização de ambientes urbanos (Brazil *et al.*, 2009; Lourenço & Eickstedt, 2009; Brazil & Lira-da-Silva, 2010; Brazil & Porto, 2010). Se relacionarmos

esse fato à perda de área preservada e conseqüente urbanização sofrida pela Mata Atlântica, incluindo-o na lista de *Hotspot* de biodiversidade, torna-se clara a relação que este bioma tem com as espécies de estudo. Além disso, é neste mesmo bioma que ocorre a faixa de sobreposição de registro de ocorrência destas duas espécies, já assinalado por Brazil *et al* (2009). *Tityus stigmurus* é uma espécie agressiva quando associada a outras espécies (observação pessoal) e isso pode explicar porque, em regiões de coocorrência destas espécies, têm-se mostrado um competidor mais eficaz e colonizado as principais áreas urbanas, em detrimento de *T. serrulatus*. Em ambientes antropizados com ocorrência de *T. stigmurus*, mesmo em regiões com registro de ambas as espécies, *T. serrulatus* fica restrito a áreas com remanescentes de mata (Brazil & Porto, 2010), enquanto *T. stigmurus* coloniza a área urbana, a exemplo da cidade de Salvador (Bahia) (Brazil *et al.*, 2009).

Um fator que pode estar contribuindo para a distribuição real e modelar observada no estudo é a provável ocorrência de exclusão competitiva entre as espécies modelo e as espécies nativas dos biomas onde *T. serrulatus* e *T. stigmurus* não conseguem sucesso adaptativo. O princípio da exclusão competitiva, proposto por Gause (1934), sugere que animais que precisam de recursos iguais não podem coexistir, a menos que outros fatores ecológicos sejam diferentes. Caso tal situação ocorra, uma espécie se sobreporá a outra, conduzindo-a a extinção, ou gerando pressões ecológicas e evolutivas que direcionem a segunda espécie para a ocupação de um nicho ecológico diferente (Hardin, 1960). Se observarmos, por exemplo, a região de Amazônia, notamos que não há registro de ocorrência para nenhuma destas espécies em tal bioma. Na Amazônia, o principal escorpião encontrado é o *Tityus obscurus* (Gervais, 1843) (Brasil, 2009). De grande porte e de comportamento agressivo, *T. obscurus* ocorre em toda a extensão do bioma, desde o Brasil até Guiana Francesa, Suriname, Equador, Venezuela, Guiana e Panamá, estando bem adaptado para as altas taxas de temperatura e umidade deste ambiente (Fet & Lowe, 2000; Lourenço & Leguin, 2008). Apesar de possuir veneno menos letal do que *T. serrulatus* e *T. stigmurus*, pode se alimentar de insetos, outros escorpiões e pequenos vertebrados (Cozijn, 2009). Seu veneno causa ainda acidentes graves e pode levar a óbito (Hommel *et al.*, 2000; Pardal *et al.*, 2014a; Pardal *et al.*, 2014b), sendo ele, portanto, uma das quatro espécies consideradas de importância médica no Brasil (Brasil, 1999, 2001, 2009; Lourenço & Eickstedt, 2009; Brazil & Porto,

2010). Isso sugere que, talvez, *T. serrulatus* e *T. stigmurus* encontrem em *T. obscurus* um competidor num bioma onde ele está bem adaptado.

Nesta mesma linha há na Caatinga a ocorrência de dois escorpiões do gênero *Rhopalurus*, também muito bem adaptados e predominantes neste bioma: *Rhopalurus rochae* (Borelli, 1910) e *Rhopalurus agamemnom* (C. L. Koch, 1839). São animais de grande porte, robustez acentuada, pouco agressivos e não são considerados de importância médica (Brazil *et al*, 2009). Habitam a região de Caatinga e parte do Cerrado brasileiros, sendo por isso bem adaptados a altas temperaturas e escassez de água (Lourenço, 1986; Lourenço & Pinto-da-Rocha, 1997; Yamaguti, 2011). Estas espécies também podem se constituir em competidores, principalmente para *T. serrulatus*, que aparentemente não suporta temperaturas muito elevadas.

No Cerrado, o escorpião predominante é o *Tityus trivittatus* Kraepelin, 1898, que habita até a porção final do Pampa e parte central da Argentina. São animais de médio porte, de reprodução sexuada, ou facultativamente partenogenética, e os maiores agentes etiológicos na Argentina (Maury, 1997; Piola *et al.*, 2006). No Brasil, não há relatos de acidentes graves causados por esta espécie. Esta espécie também pode se constituir em competidor, principalmente para *T. stigmurus*, que encontra dificuldade para ocupar áreas de clima seco e frio desse bioma. Segundo Lourenço & Cuellar (1994), *T. serrulatus* era inicialmente restrito ao Cerrado, considerado seu centro de dispersão para outros biomas. A questão é se a baixa ocorrência da espécie se deu por um processo de exclusão competitiva com *T. trivittatus* ou por outros fatores bióticos ou abióticos.

## Conclusões

Concluimos que as duas espécies estão distribuídas distintamente nos biomas de Mata Atlântica, Caatinga e Cerrado, porém com áreas de sobreposição de ambas as espécies na Mata Atlântica. Essa conclusão concorda com os resultados da modelagem, que sugere este bioma como o que apresenta as condições bioclimáticas mais favoráveis para a ocorrência das espécies.

Quanto às variáveis bioclimáticas, a temperatura parece ser o fator limitante tanto para a ocorrência de *T. serrulatus* quanto para *T. stigmurus*. Enquanto o primeiro aparentemente não suporta temperaturas muito elevadas e ambiente com baixa umidade, o segundo parece ser limitado por variações nos níveis de temperatura.

Além disso, nas áreas de sobreposição entre as duas espécies, na Mata Atlântica, *T. serrulatus* distribui-se por quase toda a sua extensão, inclusive nas áreas de menor temperatura na sua porção sul, enquanto a distribuição de *T. stigmurus* parece concentrar-se na porção norte, em áreas com temperaturas mais elevadas e menor variação de temperatura.

Apesar de a literatura indicar que o Cerrado foi o local de dispersão inicial de *T. serrulatus*, seu baixo registro neste bioma pode estar relacionado ao um processo de exclusão competitiva com *T. trivittatus*, espécie do gênero típica deste bioma. A quase completa ausência de *T. serrulatus* na Caatinga sugere que o fator limitante para a sua ocorrência pode ser a temperatura muito elevada e um provável processo de exclusão competitiva com espécies do gênero *Rhopalurus* (*R. rochae* e *R. agamemnom*), cujo ambiente favorece a sua alta abundância.

Para *Tityus stigmurus*, a Caatinga foi claramente o bioma no qual se deu seu maior sucesso adaptativo, apresentando todas as características bioclimáticas preferenciais para a espécie (temperatura elevada e com mínimas variações e baixa umidade). Quanto ao Cerrado, tanto características bioclimáticas do ambiente quanto a presença de um competidor, *T. trivittatus*, podem limitar a ocorrência de *T. stigmurus* para este bioma.

A ausência de dados concretos que ajudem a explicar a ausência de *T. serrulatus* e *T. sigmurus* na Amazônia nos limita a inferir se tal ausência se deve a fatores gerados pela exclusão competitiva com a espécie típica do bioma, *T. obscurus*, ou por condições bioclimáticas ou de nicho ecológico desfavoráveis para as espécies.

Finalmente concluímos que a melhor abordagem para estudos deste tipo com espécies altamente plásticas e sinantrópicas é com o uso dos biomas, e não com limites geopolíticos de Estados. Sugerimos que estudos futuros possam utilizar características como antropização e urbanização associadas aos mapas de biomas, a fim de levantar inferências sobre o impacto destes distúrbios ambientais na distribuição das espécies estudadas.

## Referências Bibliográficas

Ab'Sáber, AN. 2003. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas. *Ateliê Editorial*, São Paulo.

Almeida, RB. 2010. Atlas das espécies de *Tityus* C.L. Koch, 1836 (Scorpiones, Buthidae) do Brasil. Dissertação de mestrado, *Universidade de São Paulo*.

Alves, RS; Martins, RD; Souza, DF; Alves, CD; Babosa, PSF; De Queiroz, MGF; Martins, AMC & Monteiro, HAS. 2007. Aspectos epidemiológicos dos acidentes escorpiônicos no estado do Ceará no período de 2003 a 2004. *Revista Eletrônica Pesquisa Médica*, Vol 1(3):14 – 20.

Amorim, AM; Carvalho, FM; Lira-da-Silva, RM & Brazil, TK. 2002. Acidentes por escorpião em uma área do Nordeste de Amaralina, Salvador, Bahia, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 36: 51–56.

Anderson, R. *et al.* 2002. Using niche-based GIS modeling to test geographic predictions of competitive exclusion and competitive release in South American pocket mice. *Oikos* 98: 3–16.

Beatty, GE & Provan, J. 2010. Refugial persistence and postglacial recolonization of North America by the cold-tolerant herbaceous plant *Orthilia secunda*. *Molecular Ecology*, 19, 5009–5021.

Begon, M.; Townsend, CR & Harper, JL. 2007. *Ecologia: De Indivíduos a Ecossistemas*. 4 ed. Porto Alegre, RS: *Artmed*.

Bordon, KCF; Cologna, CT & Arantes, EC. 2015. Scorpion Venom Research Around the World: *Tityus serrulatus*. In: Gopalakrishnakone, P; Possani, LD; Schwartz, E & Rodriguez de la Vega, RC (Eds). *Scorpion Venoms*. *Springer Reference*, 28 may.

Bortoluzzi, LR; Querol, MVM & Querol, E. 2007. Notes on the occurrence of *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 (Scorpiones, Buthidae) in the Western areas of Rio Grande do Sul, Brazil. *Biota Neotropica*, sep/dez, vol. 7, no. 3

Buckley, TR; Marske, KA & Attanayake, D. 2009. Identifying glacial refugia in a geographic parthenogen using palaeoclimate modelling and phylogeography: the New Zealand stick insect *Argosarchus horridus* (White). *Molecular Ecology*, 18, 4650–4663.



Brasil. 1999. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas. Lista de doenças relacionadas ao trabalho : Portaria n.º 1.339/GM, de 18 de novembro de 1999 / Ministério da Saúde, Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas. – Brasília: *Editora Ministério da Saúde*.

Brasil. 2001. Ministério da Saúde. Secretaria de Políticas de Saúde. Departamento de Atenção Básica. Área Técnica de Saúde do Trabalhador Saúde do trabalhador / Ministério da Saúde, Departamento de Atenção Básica, Departamento de Ações Programáticas e Estratégicas, Área Técnica de Saúde do Trabalhador. – Brasília: *Editora Ministério da Saúde*.

Brasil. 2009. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância Epidemiológica. Manual de controle de escorpiões / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância Epidemiológica. – Brasília: *Editora Ministério da Saúde*.

Brasil. 2014. IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Bahia. Dados populacionais Brasil. Rio de Janeiro: *IBGE*.

Brasil. 2015. Ministério do Meio Ambiente: Portal Bio. Biomas Brasileiros. <http://www.mma.gov.br/biomas>, acesso em 09/06/2015.

Brazil, TK; Lira-da-Silva, RM; Porto, TJ; Amorim, AM & Silva, TF. 2009. Escorpiões de Importância Médica do Estado da Bahia, Brasil. *Gazeta Médica da Bahia*, v. 79, p. 38-42.

Brazil, TK & Lira-da-Silva, RM. 2010. Animais peçonhentos. In: Brazil, TK (org). Catálogo da Fauna Terrestre de Importância Médica da Bahia. Salvador: *EDUFBA*.

Brazil, TK & Porto, TJ. 2011. Os escorpiões. Salvador : *EDUFBA*.

Camargo, FA & Ricciardi, AIA. 2000. Sobre la presencia de un escorpión *Tityus serrulatus* Lutz & Mello (Scorpiones: Buthidae) en la ciudad de Corrientes. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, [http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/8\\_exactas/e\\_pdf/e\\_038.pdf](http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2000/8_exactas/e_pdf/e_038.pdf), acesso em 02/06/2015.

Carnaval, AC & Moritz, C. 2008. Historical climate modelling predicts patterns of current biodiversity in the Brazilian Atlantic forest. *Journal of Biogeography*.

Chippaux JP, Goyffon M. 2008. Epidemiology of scorpionism: a global appraisal. *Acta Tropica*; 107:71-79.

Colwell, RK & Rangel, TF. 2009. Hutchinson's duality: the once and future niche. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. USA 106: 19651–19658.

Cozijn, M. 2009. *Tityus obscurus*: Biography. Disponível em The Scorpion Files - [http://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/t\\_obscurus\\_biography.pdf](http://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/t_obscurus_biography.pdf)

De Souza, CAR; Candido, DM; Lucas, SM. & Brescovit, AD. 2009. On the *Tityus stigmurus* complex (Scorpiones, Buthidae). *Zootaxa*, 1987: 1–38.

Dias, MA; Simó, M; Castellano, I & Brescovit, AD. 2011. Modeling distribution of *Phoneutria bahiensis* (Araneae: Ctenidae): an endemic and threatened spider from Brazil. *Zoologia* 28 (4): 432–439, august.

Dominguez-Dominguez, O; Martinez-Meyer, E; Zambrano, L & Ponce de Leon, GP. 2006. Using Ecological-Niche Modeling as a Conservation Tool for Freshwater Species: Live-Bearing Fishes in Central Mexico. *Conservation Biology*, vol. 20, nº. 6, 1730–1739.

Dos Santos, MDS; Porto, TJ; Lira-da-Silva, RM & Brazil, TK. 2014. Description of the male of *Tityus kuryi* Lourenço 1997 and notes about males of *Tityus stigmurus* (Thorell 1877) and *Tityus serrulatus* Lutz & Mello, 1922 (Scorpiones: Buthidae). *Zookeys*, (435): 49-61.

Efron, B. 1980. The Jackknife, the Bootstrap and other Resampling Plans. *Technical Report*, nº 63, december.

Elith, J; Graham, CH; Anderson, RP; Dudík, M; Ferrier, S; Guisan, A; Hijmans, RJ; Huettmann, F; Leathwick, JR; Lehmann, A; Li, J; Lohmann, LG; Loiselle, BA; Manion, G; Moritz, C; Nakamura, M; Nakazawa, Y; Overton, JMcC; Peterson, AT; Phillips, SJ; Richardson, KS; Scachetti-Pereira, R; Schapire, RE; Soberón, J; Williams, S; Wisz, MS & Zimmermann, NE. 2006. Novel methods improve prediction of species distributions from occurrence data. *Ecography*, 29, 129-151.

Fet, V; Sissom, WD; Lowe, G & Braunwalder, ME. 2000. Catalog of the Scorpions of the World (1758-1998). *New York Entomological Society*, New York, 690 pp.

Gause, GF. 1934. The Struggle for Existence. *Williams & Wilkins*, Baltimore.

Gazarian, KG; Gazarian, T; Hernández, R; Possani, LD. 2005. Immunology of scorpion toxins and perspectives for generation of antivenom vaccines. *Vaccine* 23 (26), 3357–3368.

Hardin, G. 1960. The Competitive Exclusion Principle. *Science*, New series, vol 131, nº3409, april, 29, p 1292-1297.

Hernandez, PA; Graham, CH; Master, LL & Albert, DL. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography* 29, 773-785.

Hommel, D; Hulin, A & Lourenço, WR. 2000. Accident scorpionique letal par *Tityus cambridgei* Pocock: À propos d'un cas en Guyane Française. *Concours medical*, (Paris) Vol. 122, Nr.7, pp. 481-484

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. 2011. Informações sobre o tempo. Visitado em 08 de junho de 2015.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2015. Organization. Disponível em <http://www.ipcc.ch/>. Acesso em 14 de maio de 2015.

Lawson, LP. 2010. The discordance of diversification: evolution in the tropical-montane frogs of the Eastern Arc Mountains of Tanzania. *Molecular Ecology*, 19, 4046–4060.

Lira-da-Silva, RM; Amorim, AM & Brazil, TK. 2000. Envenenamento por *Tityus stigmurus* (Scorpiones;Buthidae) no Estado da Bahia, Brasil. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 33(3):239-245, mai-jun.

Lira-da-Silva, RM; Amorim, AM; Carvalho, FM & Brazil, TK. 2009. Acidentes por Escorpião na Cidade do Salvador, Bahia, Brasil (1982-2000). *Gazeta Médica da Bahia*, v. 79, p. 43-49.

Lira-da-Silva, RM (org.). 2011. Escorpiões da cidade do Salvador, Brasil. Núcleo Regional de Ofiologia de Animais Peçonhentos, Departamento de Zoologia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia. Disponível em: <http://www.noap.ufba.br/biotabahia>, acesso em 10 de outubro de 2014.

Lourenço, WR. 1981. Sur la systématique des Scorpions appartenant au complexe *Tityus stigmurus* (Thorell, 1877) (Buthidae). *Revista Brasileira Biologia*, 41 (2), 351–362.

Lourenço, WR. 1986. Les Modeles de Distribution Geographique de Quelques Groupes de Scorpions Neotropicaux. *Compte-Rendu des Séances de la Société de Biogéographie*, 62 (2): 61-83

- Lourenço, WR. 1986. Biogéographie et phylogénie des scorpions du genre *Rhopalurus* (Scorpiones, Buthidae). *Mémoires de la Société Royale Belge d'Entomologie* 33:129–137.
- Lourenço, WR & Cloudsley-Thompson, JL. 1996. Effects of human activities on the environment and the distribution of dangerous species of scorpions. In: Bon, C & Goyffon, M (Eds). *Envenomings and their treatments*. Edit. *Fondation M. Mérieux*, Lyon, pp. 49–60.
- Lourenço, WR & Cloudsley-Thompson, JL. 1999. Discovery of a Sexual Population of *Tityus serrulatus*, one of the Morphs Within the Complex *Tityus stigmurus* (Scorpiones, Buthidae). *The Journal of Arachnology*, 27:154–158.
- Lourenço, WR & Cuellar, O. 1994. Notes on the geography of parthenogenetic scorpions. *Biogeographica* 70: 19-23.
- Lourenço, WR & Pinto-da-Rocha, R. 1997. A reappraisal of the geographic distribution of the genus *Rhopalurus* Thorell (Scorpiones: Buthidae) and description of two new species. *Biogeographica*, 73:181–191.
- Lourenço WR. 2008. Parthenogenesis in scorpions: some history - new data. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 14:19-44.
- Lourenço, WR & Leguin, E. 2008. The true identity of *Scorpio (Atreus) obscurus* Gervais, 1843 (Scorpiones, Buthidae). *Euscorpius*, No. 75, Pp. 1-11.
- Lourenço, WR & Eickstedt, VRDV. 2009. Escorpiões de Importância Médica. In: Cardoso, JLC; França, FOS; Wen, FH; Málaque, CMS & Haddad Jr., V. *Animais Peçonhentos do Brasil: Biologia, Clínica e Terapêutica dos Acidentes*. *Sarvier*, 2ª ed.
- Lourenço, WR. 2015. Scorpion Diversity and Distribution: Past and Present Patterns. In: Gopalakrishnakone, P; Possani, LD; Schwartz, E & Rodriguez de la Vega, RC (Eds). *Scorpion Venoms*. *Springer Reference*, 28 may.
- Mateo, RG; Croat, TB; Felicísimo, AM & Muñoz, J. 2010. Profile or group discriminative techniques? Generating reliable species distribution models using pseudo-absences and target-group absences from natural history collections. *Diversity and Distributions* 16, 84-94.
- Matthiessen, FA. 1962. Parthenogenesis in Scorpions. *Evolution*, 16 (2), p. 255–256.

Maury, EA. 1997. *Tityus trivittatus* en la Argentina. Nuevos datos sobre distribución, partenogénesis, sinantropía y peligrosidad (Escorpiones, Buthidae). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia*, 24, 1–24.

McCormack, JE; Zellmer, AJ & Knowles, LL. 2009. Does Niche Divergence Accompany Allopatric Divergence In Aphelocoma Jays As Predicted Under Ecological Speciation?: Insights From Tests With Niche Models. *Evolution*, doi:10.1111/j.1558-5646.2009.00900.

Myers, N; Mittermeier, RA; Mittermeier, CG; Fonseca, GAB & Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403:853-858.

Oliveira, G; Rangel, TF; Lima-Ribeiro, MS; Terribile, LC & Diniz-Filho, JAF. 2014. Evaluating, partitioning, and mapping the spatial autocorrelation component in ecological niche modeling: a new approach based on environmentally equidistant records. *Ecography* 37: 001–011.

Pardal, PPO; Ishikawa, EAY; Vieira, JLF; Coelho, JS; Dórea, RCC; Abati, PAM; Quiroga, MMM & Chalkidis, HM. 2014a. Clinical aspects of envenomation caused by *Tityus obscurus* (Gervais, 1843) in two distinct regions of Pará state, Brazilian Amazon basin: a prospective case series. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 20:3.

Pardal, PPO; Gadelha, MAC; Menezes, MMGO; Malheiros, RS; Ishikawa, EAY & Gabriel, MDG. 2014b. Envenenamento grave pelo escorpião *Tityus obscurus* Gervais, 1843. *Revista Pan-Amazônica de Saúde*, 5(3):65-70

Pearson, RG. 2007. Species Distribution Modeling for Conservation Educators and Practitioners. *American Museum of Natural History*. Disponível em <http://ncep.amnh.org>.

Phillips, SJ; Anderson, RP & Schapire, RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, p. 231–259. (doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026).

Piola, JC; Prada, DB; Waksman, JC & Evangelista, M. 2006. Increase mortality and morbidity from *Tityus trivittatus* envenomation in Argentina. *Clinical Toxicology*., 44, 650.

Pucca, MB; Oliveira, FN; Schwartz, EF; Arantes, EC & Lira-da-Silva, RM. 2015. Scorpionism and Dangerous Species of Brazil. In: Gopalakrishnakone, P; Possani, LD; Schwartz, E & Rodriguez de la Vega, RC (Eds). *Scorpion Venoms*. *Springer Reference*, 28 may.

Ross, LK. 2010. Confirmation of parthenogenesis in the medically significant, synanthropic scorpion *Tityus stigmurus* (Thorell, 1876) (Scorpiones: Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnología*, 18, 115–121.

Soberon, J. 2010. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*, 10: 1115–1123

Stockmann, R. 2015. Introduction to Scorpion Biology and Ecology. In: Gopalakrishnakone, P; Possani, LD; Schwartz, E & Rodriguez de la Vega, RC (Eds). *Scorpion Venoms*. Springer Reference, 28 may.

Stockwell, SA. 1989. Revision of the phylogeny and higher classification of scorpions (Chelicerata). Tese de doutorado. *University of California, Berkeley*, 413 pp.

Swets, JA. 1988. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, 240, 1285–1293.

Terribile, LC; Lima-Ribeiro, MS; Bastos Araujo, M; Bizao, N; Collevatti, RG; Dobrovolski, R; Franco, AA; Guilhaumon, F; Lima, JDS; Murakami, DM; Nabout, JC; de Oliveira, G; de Oliveira, LK; Rabelo, SG; Rangel, TF; Simon, LM; Soares, TN; de Campos Telles, MP & Felizola Diniz-Filho, JA. 2012. Areas of Climate Stability of Species Ranges in the Brazilian Cerrado: Disentangling Uncertainties Through Time. *Natureza & Conservação*, 10(2):152-159.

Torres, JB; Marques, MGB; Martinez, R & Borges, C. 2002. Acidente por *Tityus* e suas implicações epidemiológicas no Rio Grande do Sul. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo, 36:631-633.

Watanabe, S; Hajima, T; Sudo, K; Nagashima, T; Takemura, T; Okajima, H; Nozawa, T; Kawase, H; Abe, M; Yokohata, T; Ise, T; Sato, H; Kato, E; Takata, K; Emori, S & Kawamiya, M. 2011. MIROC-ESM 2010: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments. *Geoscientific Model Development*, 4, 845–872.

Werneck, FP; Costa, GC; Colli, GR; Prado, DE & Sites Jr, JW. 2011. Revisiting the historical distribution of seasonally dry tropical forests: new insights based on palaeodistribution modelling and palynological evidence. *Global Ecology and Biogeography*, 20: 272–288.

WorldClim, Global Climate Data. 2015. Disponível em <http://www.worldclim.org/>. Acesso em 14 de maio de 2015.

Yamaguti, HY. 2011. Análise Filogenética e Biogeográfica do gênero *Rhopalurus* Thorell, 1876 (Arachnida: Scorpiones: Buthidae). Tese de doutorado, *Universidade de São Paulo*, São Paulo.

## Conclusões finais

---

Conclui-se do trabalho que a temperatura parece ser o fator limitante tanto para a ocorrência de *Tityus serrulatus* quanto para *Tityus stigmurus*, levando-se em conta que apenas fatores abióticos foram analisados. Enquanto o primeiro aparentemente não suporta temperaturas muito elevadas e ambiente com baixa umidade, o segundo parece ser limitado por variações nos níveis de temperatura.

*Tityus serrulatus* e *Tityus stigmurus* são espécies típicas de mata atlântica, corroborado tanto pela distribuição real como pela modelagem de nicho ecológico, sugerindo que este bioma exerce forte influência sobre a sobrevivência das espécies. Existem áreas de sobreposição, sendo que *T. serrulatus* distribui-se por quase toda a extensão da Mata Atlântica, inclusive nas áreas de menor temperatura, na sua porção sul, enquanto a distribuição de *T. stigmurus* parece concentrar-se na porção norte deste bioma, em áreas com temperaturas mais elevadas.

Apesar de a literatura indicar que o Cerrado foi o local de dispersão inicial de *T. serrulatus*, seu baixo registro neste bioma pode estar relacionado ao um processo de exclusão competitiva com *Tityus trivittatus*, espécie do gênero típica deste bioma. A quase completa ausência de *T. serrulatus* na Caatinga sugere que o fator limitante para a sua ocorrência pode ser a temperatura muito elevada e um provável processo de exclusão competitiva com espécies do gênero *Rhopalurus* (*R. rochae* e *R. agamemnom*), cujo ambiente favorece a sua alta abundância.

Para *Tityus stigmurus*, a Caatinga é claramente o bioma no qual se deu seu maior sucesso adaptativo, apresentando todas as características bioclimáticas preferenciais para a espécie (temperatura elevada e com mínimas variações e baixa umidade). Quanto ao cerrado, tanto características bioclimáticas do ambiente quanto a presença de um competidor mais bem adaptado limitam a ocorrência de *T. stigmurus* para este bioma.

Para a ausência das duas espécies na Amazônia não podemos concluir com clareza o que pode estar acontecendo: se é por fatores gerados pela exclusão competitiva com a espécie típica do bioma, *Tityus obscurus*, ou por condições bioclimáticas ou de nicho ecológico desfavoráveis que as espécies não ocorrem.



Por fim, conclui-se que a melhor abordagem para estudos deste tipo com espécies altamente plásticas e sinantrópicas é mesmo com o uso dos biomas, e não com limites políticos de estados. Sugere-se ainda que, em estudos futuros, sejam utilizadas talvez características como antropização e urbanização associadas aos mapas de biomas, a fim de levantar inferências sobre de que forma estes distúrbios ambientais influenciam o comportamento das espécies.

## Referências

---

- Ab'Sáber, AN. 1967. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil. *Orientação*, 3, *IGEOG-USP*: 45-48
- Ab'Sáber, AN. 2003. Os Domínios de Natureza no Brasil: Potencialidades Paisagísticas. *Ateliê Editorial*, São Paulo.
- Begon, M.; Townsend, CR & Harper, JL. 2007. *Ecologia: De Indivíduos a Ecosistemas*. *Artmed*, 4 ed. Porto Alegre, RS.
- Bernardo-Silva, J; Martins-Ferreira, C; Maneyro, R & Freitas, TRO. 2012. Identification of Priority Areas for Conservation of Two Endangered Parapatric Species of Red-bellied Toads Using Ecological Niche Models and Hotspot Analysis. *Natureza & Conservação* 10(2):207-213, december.
- Brazil, TK & Porto, TJ. 2011. Os escorpiões. Salvador : *EDUFBA*.
- Chesson, P. 1991. A need for niches? *Trends in Ecology & Evolution*, 6: 26-28.
- Costa, GC; Nogueira, C; Machado, RB & Colli, GR. 2010. Sampling bias and the use of ecological niche modeling in conservation planning: a field evaluation in a biodiversity Hotspot. *Biodivers Conserv*, 19:883–899
- Davis, AJ; Lawton, JH; Shorrocks, B. & Jenkinson, LS. 1998. Individualistic species responses invalidate simple physiological models of community dynamics under global environmental change. *Journal of Animal Ecology*, 67, 600–612.
- Dias, MA; Simó, M; Castellano, I & Brescovit, AD. 2011. Modeling distribution of *Phoneutria bahiensis* (Araneae: Ctenidae): an endemic and threatened spider from Brazil. *Zoologia*, 28 (4): 432–439, august.
- Dominguez-Dominguez, O; Martinez-Meyer, E; Zambrano, L & Ponce De Leon, GP. 2006. Using Ecological-Niche Modeling as a Conservation Tool for Freshwater Species: Live-Bearing Fishes in Central Mexico. *Conservation Biology*, vol 20, nº. 6, 1730–1739.
- Gause, GF. 1934. *The Struggle for Existence*. *Williams & Wilkins*, Baltimore.
- Giovanelli, JGR; Araujo, CO; Haddad, CFB & Alexandrino, J. 2008. Modelagem do nicho ecológico de *Phyllomedusa ayeaye* (Anura: Hylidae): previsão de novas áreas de ocorrência para uma espécie rara. *Neotropical Biology and Conservation*, 3(2):59-65, may - august

Grinnell, J. 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *Auk*, 34, 427–433.

Grinnell, I. 1924. Geography and evolution. *Ecology* 5 : 225-29

Grinnell, J. 1928. Presence and absence of animals. *University California Chronicle*, 30:429-S0

Hutchinson, GE. 1944. Limnological studies in Connecticut. VII. A critical examination of the supposed relation between phytoplankton periodicity and chemical changes in lake Waters. *Ecology*, 25, 3-26.

Hutchinson, GE. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415–427.

Hutchinson, GE. 1978. An Introduction to Population Ecology. *Yale University Press*, New Haven.

Leathwick, JR. 2002. Intra-generic competition among *Nothofagus* in New Zealand's primary indigenous forests. *Biodiversity and Conservation*, 11, 2117–2187.

Peterson, AT; Papes, M & Eaton, M. 2007. Transferability and model evaluation in ecological niche modeling: a comparison of GARP and Maxent. *Ecography* 30: 550-560.

Peterson, AT & Nyári, AS. 2007. Ecological Niche Conservatism and Pleistocene Refugia In The Thrush-Like Mourner, *Schiffornis* sp., In The Neotropics. *Evolution*, 62-1: 173–183.

Phillips, SJ; Anderson, RP & Schapire, RE. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190, p. 231–259. (doi:10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026).

Phillips, SJ & Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31: 161-175.

### **Anexo 1 - Normas gerais para publicação no periódico *Zoological Journal of the Linnean Society*.**

#### **Instructions for Authors**

The Linnean Society publishes four periodicals: the *Biological*, *Botanical* and *Zoological Journals*, and *The Linnean*, the Society's newsletter and proceedings.

The *Zoological Journal* publishes papers on systematic and evolutionary zoology and comparative, functional and other studies where relevant to these areas. Studies of extinct as well as living animals are included.

Submissions to the *Zoological Journal* are now made on-line using ScholarOne Manuscripts. This includes any revised versions of previously submitted papers. To submit to the journal go to <http://mc.manuscriptcentral.com/zoi>. If this is the first time you have used the system you will be asked to register by clicking on 'create an account'. Full instructions on making your submission are provided. You should receive an acknowledgement within a few minutes. Thereafter, the system will keep you informed of the process of your submission through refereeing, any revisions that are required, and a final decision.

#### **Conflict of Interest**

The *Zoological Journal of the Linnean Society* requires that all authors disclose any potential sources of conflict of interest. Any interest or relationship, financial or otherwise, that might be perceived as influencing an author's objectivity is considered a potential source of conflict of interest. These must be disclosed when directly relevant or indirectly related to the work that the authors describe in their manuscript. Potential sources of conflict of interest include but are not limited to patent or stock ownership, membership of a company board of directors, membership of an advisory board or committee for a company, and consultancy for or receipt of speaker's fees from a company. The existence of a conflict of interest does not preclude publication in this journal.



license supporting you in complying with your Funder requirements. For more information on this policy and the Journal's compliant self-archiving policy please visit: <http://www.wiley.com/go/funderstatement>

### **Author material archive policy**

All original hardcopy artwork for the three Linnean Society Journals will be returned to authors after publication. **Please note that, unless specifically requested, Wiley will dispose of all electronic material and any remaining hardcopy two months after publication.** If you require the return of any of this material, you must inform the editorial office upon submission.

### **Offprints**

A PDF offprint of the online published article will be provided free of charge to the corresponding author, and may be distributed subject to the Publisher's terms and conditions. Paper offprints of the printed published article may be purchased if ordered via the method stipulated on the instructions that will accompany the proofs.

### **Manuscript preparation**

Authors should aim to communicate ideas and information clearly and concisely, in language suitable for the moderate specialist. Papers in languages other than English are not accepted unless invited. When a paper has joint authorship, one author must accept responsibility for all correspondence; the full postal address, telephone and fax numbers, and e-mail address of the author who is to check proofs should be provided. **Please submit your manuscript in an editable format such as .doc or .rtf. If you submit your manuscript in a non-editable format such as PDF, this will slow the progress of your paper as we will have to contact you to request an editable copy.**

Papers should conform to the following general layout:

#### ***Title page***

This should be uploaded as a separate file, designation 'Title Page'. It should include title, authors, institutions and a short running title. The title should be concise but informative, and where appropriate should include mention of family or higher taxon

in the form: 'The Evolution of the Brown Rat, *Rattus norvegicus* (Rodentia: Muridae)'. A subtitle may be included, but papers in numbered series are not accepted. Names of new taxa should not be given in titles.

### ***Abstract***

This must be on a separate page. The abstract is of great importance as it may be reproduced elsewhere, and is all that many may see of your work. It should be about 100-200 words long and should summarize the paper in a form that is intelligible in conjunction with the title. It should not include references. The abstract should be followed by up to ten keywords additional to those in the title (alphabetically arranged and separated by hyphens) identifying the subject matter for retrieval systems.

### ***Subject matter***

The paper should be divided into sections under short headings. Except in systematic hierarchies, the hierarchy of headings should not exceed three. The Zoological Codes must be strictly followed. Names of genera and species should be printed in italic or underlined to indicate italic; do not underline suprageneric taxon names. Cite the author of species on first mention. Use SI units, and the appropriate symbols (mm, not millimetre;  $\mu\text{m}$ , not micron., s, not sec; Myr for million years). Use the negative index (m-1, l-1, h-1) except in cases such as 'per plant'. Avoid elaborate tables of original or derived data, long lists of species, etc.; if such data are absolutely essential, consider including them as appendices or as online-only supplementary material. Avoid footnotes, and keep cross references by page to an absolute minimum. Please provide a full English translation (in square brackets) for any quoted matter that is not in English.

### ***References***

We recommend the use of a tool such as [EndNote](#) or [Reference Manager](#) for reference management and formatting. EndNote reference styles can be searched for here: <http://www.endnote.com/support/enstyles.asp> Reference Manager reference styles can be searched for here: <http://www.refman.com/support/rmstyles.asp>

In the text, give references in the following forms: 'Stork (1988) said', 'Stork (1988: 331)' where it is desired to refer to a specific page, and '(Rapport, 1983)' where giving reference simply as authority for a statement. Note that names of joint authors are connected by '&' in the text. **When papers are by three authors, use all names on the first mention and thereafter abbreviate to the first name *et al.* For papers by four or more authors, use *et al.* throughout.**

The list of references must include all publications cited in the text and only these. Prior to submission, make certain that all references in the text agree with those in the references section, and that spelling is consistent throughout. In the list of references, titles of periodicals must be given in full, not abbreviated. For books, give the title, place of publication, name of publisher (if after 1930), and indication of edition if not the first. In papers with half-tones, plate or figure citations are required only if they fall outside the pagination of the reference cited. References should conform as exactly as possible to one of these four styles, according to the type of publication cited.

Burr FA, Evert RF. 1982. A cytochemical study of the wound-healing proteins in *Bryopsis hypnoides*. *Cytobios* 6: 199-215.

Gould SJ. 1989. *Wonderful life: the Burgess Shale and the nature of history*. New York: W.W. Norton.

Dow MM, Cheverud JM, Rhoads J, Friedlaender J. 1987b. Statistical comparison of biological and cultural/history variation. In: Friedlaender J, Howells WW, Rhoads J, eds. *Solomon Islands project: health, human biology, and cultural change*. New York: Oxford University Press, 265-281.

Gay HJ. 1990. The ant association and structural rhizome modifications of the far eastern fern genus *Lecanopteris* (Polypodiaceae). Unpublished D. Phil. Thesis, Oxford University.

Other citations such as papers 'in press' [i.e. formally accepted for publication] may appear on the list but not papers 'submitted' or 'in preparation'. These should be cited



as 'unpubl. data' in the text with the names and initials of all collaborators. A personal communication may be cited in the text but not in the reference list. Please give all surnames and initials for unpublished data or personal communication citations given in the text.

**In the case of taxonomic reviews, authors are requested to include full references for taxonomic authorities.**

Give foreign language references in ordinary English alphabetic form (but copy accents in French, German, Spanish, etc.), if necessary transliterating in accordance with a recognized scheme. For the Cyrillic alphabet use British Standard BS 2979 (1958). If only a published translation has been consulted, cite the translation, not the original. Add translations not supplied by the author of the reference in square brackets.

***Tables***

Keep these as simple as possible, with few horizontal and, preferably, no vertical rules. When assembling complex tables and data matrices, bear the dimensions of the printed page (225 × 168 mm) in mind; reducing typesize to accommodate a multiplicity of columns will affect legibility.

***Illustrations***

These normally include (1) half-tones reproduced from photographs, (2) black and white figures reproduced from drawings and (3) diagrams. Use one consecutive set of Arabic numbers for all illustrations (do not separate 'Plates' and 'Text-figures' - treat all as 'Figures'). Figures should be numbered in the order in which they are cited in the text. Use upper case letters for subdivisions (e.g. Figure 1A-D) of figures; all other lettering should be lower case.

1. *Half-tones reproduced from photographs*

Increasingly, authors' original images are captured digitally rather than by conventional film photography. In these cases, please use settings on your equipment for the highest possible image quality (minimum 300dpi).

Desktop technology now allows authors to prepare plates by scanning

photographic originals and then labelling them using graphics programs such as Adobe Illustrator. These are acceptable provided:

2. Resolution is a minimum of 300 dpi at the final required image size. The labelling and any line drawings in a composite figure should be added in vector format. If any labelling or line drawings are embedded in the file then the resolution must be a minimum of 800 dpi. Please note that vector format labelling will give the best results for the online version of your paper.

3. Electronic files are saved uncompressed as TIFF or EPS files.

In the case that it is not possible to provide electronic versions, please supply photographic prints with labelling applied to a transparent overlay or to a photocopy.

*Grouping and mounting:* when grouping photographs, aim to make the dimensions of the group (including guttering of 2 mm between each picture) as close as possible to the page dimensions of 168 × 225 mm, thereby optimizing use of the available space. Remember that grouping photographs of varied contrast can result in poor reproduction. If supplied as photographic prints, the group should be mounted on thin card. Take care to keep the surface of the prints clean and free of adhesive. Always provide overlays to protect the photographs from damage.

*Lettering and numbering:* If supplied as photographic prints, letters and numbers should be applied in the form of dry-transfer ('Letraset') letters, numbers, arrows and scale bars, but not measurements (values), to transparent overlays in the required positions, rather than to the photographs themselves; this helps to avoid making pressure marks on the delicate surface of the prints, and facilitates relabelling, should this be required. Alternatively, pencilled instructions can be indicated on duplicates or photocopies marked 'FOR LABELLING ONLY'. Self-adhesive labels should be avoided, but if they are used, they should not be attached directly to either photographs or overlays, but to photocopies, to indicate where they are to be positioned. Labelling will be inserted electronically by the typesetter in due course.

*Colour:* Online-only colour in figures is free of charge, however it is essential in these cases that the figure legends apply equally well to both printed greyscale and online colour versions, and do not specifically refer to the colour. **Colour illustrations will**

**be published free of charge provided that the colour is deemed essential by the Editor for interpretation of the figure.**

### ***Black and white figures reproduced from drawings***

These should be scanned at a minimum resolution of 800 dpi and supplied in TIFF format. Please note that JPEG, Powerpoint and doc files are not suitable for publication. If it is not possible to provide electronic versions, the figures supplied should be in black ink on white card or paper. Lines must be clean and heavy enough to stand reduction; drawings should be no more than twice page size. The maximum dimensions of published figures are 168 × 225 mm. Scale bars are the most satisfactory way of indicating magnification. Take account of proposed reduction when lettering drawings; if you cannot provide competent lettering, it may be pencilled in on a photocopy.

### ***Diagrams***

In most instances the author's electronic versions of diagrams are used and may be re-labelled to conform to journal style. These should be supplied as vector format Encapsulated PostScript (EPS) files. Please note that diagrams or graphs will not reproduce well in the online version of your paper unless they are in vector format due to low maximum screen resolution.

Type legends for Figures in numerical order on a separate sheet. Where a 'key' is required for abbreviations used in more than one Figure, this should be included as a section of the main text.

Authors whose manuscripts contain large phylogenies, and who feel that these cannot be represented well in the standard page format, may opt to pay for fold-out pages as part of their article (see the Fold-Out Agreement Form [here](#)). Please note that fold-out pages will be included only with the Editor's agreement.

**Authors wishing to use illustrations already published must obtain written permission from the copyright holder before submitting the**

**manuscript.** Authors may, in the first instance, submit good xerox or photographic copies of figures rather than the originals.

Detailed instructions on preparing illustrations in electronic form are available [here](#). Authors may be charged for alterations at proof stage (other than printer's errors) if they are numerous.

### ***Supporting information***

Authors wishing to submit material to be hosted as online supporting information should consult the author guidelines [here](#). Authors should note that the Editor may suggest that figures, tables, and lists not deemed necessary for the understanding of the paper should be published online as supplementary material.

Please follow these guidelines carefully:

- Include all parts of the text of the paper in a single .doc or .rtf file. The ideal sequence is: (1) Header (running heads; correspondence; title; authors; addresses; abstract; additional keywords, etc.). (2) Body of article. (3) Acknowledgements. (4) References. (5) Figure Legends. (6) Tables (for each table, the legend should be placed before the body of the table). (7) Appendices.
- Include all figure legends, and tables with their legends if available.
- **Do not embed figures in the text file**
- Do not use the carriage return (enter) at the end of lines within a paragraph.
- Turn the hyphenation option off.
- Specify any special characters used to represent non-keyboard characters.
- Take care not to use l (ell) for 1 (one), O (capital o) for 0 (zero) or ß (German esszett) for ß (beta).

### **Copyright**

Authors receiving requests for permission to reproduce work published by the Linnean Society should contact Wiley Blackwell for advice.

### **Pre-submission English-language editing**

Authors for whom English is a second language may choose to have their manuscript professionally edited before submission to improve the English. A list of independent suppliers of editing services can be found [here](#). All services are paid for and arranged by the author, and use of one of these services does not guarantee acceptance or preference for publication