

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA

LABORATÓRIO DE HERPETOLOGIA

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE SETE ESPÉCIES DO GÊNERO *MICRURUS*
(SERPENTES, ELAPIDAE) ATRAVÉS DE MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICOS

PORTO ALEGRE, NOVEMBRO DE 2010

RODRIGO GEISSLER DELANNI

ORIENTADOR: MÁRCIO BORGES-MARTINS

Artigo de Trabalho de Conclusão de Curso de Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O trabalho foi redigido de acordo com as instruções do periódico *South American Journal of Herpetology*, sob orientação do professor Márcio Borges-Martins.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Márcio, pela atenção, portas abertas e o que aprendi nesses anos como aluno e orientado.

À banca examinadora Laura Verrastro e Fernando Becker por aceitarem em contribuir com o trabalho.

Aos curadores das coleções da UFRGS, MCP, MCN e UFSC, por disponibilizarem os dados utilizados no trabalho, em especial a Moema, pelo tempo em que estagiei no NOPA, me propiciando contato com as serpentes, animais os quais tenho fascínio.

Aos amigos, em especial os que fiz durante a faculdade, simplesmente pela parceria e discussões biológicas, sejam elas sérias ou não.

Aos familiares, pai, irmãs, tios e dindos, pelo apoio financeiro, conselhos, conversas e tudo o mais que possa ter me acrescentado algo.

A todos que colaboraram de alguma forma direta ou indiretamente, seja com as ajudas dadas pelo Diego em questões referentes ao geoprocessamento, ou alunos e professores do PEAC e pessoal da Curicaca, por ajudarem a crescer minha vontade de trabalhar com Biologia.

MUITO OBRIGADO!

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE SETE ESPÉCIES DO GÊNERO *MICRURUS* (SERPENTES, ELAPIDAE) ATRAVÉS DE MODELAGEM DE NICHOS ECOLÓGICO

RODRIGO GEISSLER DELANNI^{1,2} & MÁRCIO BORGES-MARTINS²

¹ *Laboratório de Herpetologia, Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências,
Universidade Federal do Rio Grande, Av. Bento Gonçalves, 9500.*

² *E-mail: rdelanni@gmail.com*

RESUMO: As serpentes do gênero *Micrurus*, conhecidas como cobras corais, possuem grande importância para a área médica devido aos envenenamentos ocorridos pelas suas picadas. Existem poucos estudos sobre sua área de ocorrência, dificultando o reconhecimento do animal causador do acidente. No Rio Grande do Sul existem duas espécies com presença confirmada (*Micrurus altirostris* e *Micrurus silviae*), entretanto outras cinco espécies (*Micrurus corallinus*, *Micrurus lemniscatus*, *Micrurus decoratus*, *Micrurus baliocoryphus* e *Micrurus pyrrhocryptus*) possuem registros próximos do estado ou para o próprio território, porém escassos ou duvidosos. A fim de aprimorar o conhecimento das áreas de ocorrência dessas espécies utilizamos o software de modelagem de distribuição espacial Maxent, que utiliza de um algoritmo para gerar um mapa de distribuição potencial. Os modelos gerados podem ser considerados bons, atingindo valores AUC superiores a 0,9. As espécies com registros amplos no Rio Grande do Sul geraram um modelo de distribuição potencial semelhante àquela relatada na literatura. *Micrurus corallinus*, *Micrurus decoratus* e *Micrurus pyrrhocryptus* parecem não habitar o Rio Grande do Sul. Contudo, se incluídos os registros duvidosos de *Micrurus corallinus*, o modelo sugere distribuição potencial em território gaúcho. Já *Micrurus lemniscatus* pode habitar o estado

segundo os modelos gerados. *Micrurus baliocoryphus* atingiu distribuição potencial de alta a baixa probabilidade no oeste do Rio Grande do Sul, porém se faz necessário o encontro de espécimes para confirmar sua ocorrência na região, já que a distribuição da espécie parece estar limitada pela calha do rio Uruguai.

PALAVRAS CHAVE: *Micrurus*, cobra coral, distribuição geográfica, modelagem de nicho ecológico, Maxent.

INTRODUÇÃO

A região Neotropical possui possivelmente o grupo de elapídeos mais distintivo entre toda radiação da família, as cobras corais, e isso se deve a sua coloração chamativa e aposemática (Terribile et al., 2007; Roze, 1996; Silva & Sites, 2001; Marques, 2002). Esse grupo é representado por três gêneros: *Leptomicrurus* Schmidt, com três espécies; *Micruroides* Schmidt, com uma única espécie; e *Micrurus* Wagler, com cerca de 70 espécies (Campbell & Lamar, 2004; Di-Bernardo et al., 2007). Esta maior diversidade do último gênero se reflete em uma vasta distribuição geográfica, que vai do sudeste dos Estados Unidos até o centro da Argentina (Campbell & Lamar, 2004; Carreira et al., 2005), ocupando quase todas as principais regiões ecológicas do Neotrópico (Roze, 1996; Campbell & Lamar, 2004; Ávila et al., 2010).

As cobras corais, assim como outros elapídeos, são serpentes proteróglifas conhecidas por sua peçonha potencialmente perigosa para o homem, sendo responsáveis por envenenamentos graves, que podem levar ao óbito (Campbell & Lamar, 2004). Estudos feitos por Vital Brazil desde o início do século XX mostraram a especificidade dos anti-venenos para o tratamento de picadas, ressaltando a importância do reconhecimento da espécie causadora do acidente. Para o gênero *Micrurus*, já foi mostrado que um soro produzido com venenos de *Micrurus frontalis* e *Micrurus corallinus* não é capaz de neutralizar os efeitos de picadas por *Micrurus altirostris* (Wen, 2004). A identificação das espécies com potencial para ocorrência na localidade onde houve o acidente facilitaria o tratamento com o soro correto, aumentando a exigência pelo conhecimento das suas distribuições geográficas.

Entretanto, a distribuição geográfica de espécies geralmente é estimada somente com base nas localidades onde há registros, sem considerar fatores ambientais e ecológicos, criando uma arbitrariedade para a delimitação dos limites da área de ocorrência. A área de distribuição é uma complexa expressão da ecologia e história evolutiva das espécies, em que operam diversos fatores,

como as condições abióticas, as interações bióticas, o acesso às regiões e a capacidade de adaptação a novas condições (Soberón & Peterson, 2005).

A fim de aumentar a objetividade das estimativas de distribuição geográfica de espécies foram desenvolvidas ferramentas de modelagem de distribuição geográfica, que utilizam não somente os registros das espécies, mas também dados ambientais. Essas ferramentas se tornam cada vez mais populares em estudos ecológicos, sendo amplamente utilizadas em diversas aplicações (Elith et al., 2006; Peterson, 2006), como identificação de áreas prioritárias para a conservação (Garcia, 2006; Marini et al., 2010), da área potencial de invasão de uma espécie exótica (Peterson, 2003), estimativas da distribuição passada e futura (Martínez-Meyer et al., 2004) e distribuição potencial de espécies raras ou com poucos registros (Kumar & Stohlgren, 2009; Papes & Gaubert, 2007; Pearson et al., 2007). O crescimento do uso desses programas de modelagem foi favorecido pelo aumento da disponibilidade de dados climatológicos e informações ecológicas de alguns táxons (Hijmans et al., 2005), bem como o desenvolvimento de tecnologias para georreferenciamento e informatização de coleções biológicas (Terribile et al., 2007).

Os resultados dos modelos correspondem a uma previsão baseada em dados do nicho realizado da espécie, se aproximando do nicho fundamental e projetando um mapa que representa sua distribuição potencial. Segundo Hutchinson (1957), o nicho fundamental é um hipervolume n-dimensional, onde cada ponto corresponde a um estado do ambiente que pode permitir a existência indefinida de uma espécie. Entretanto uma espécie não utiliza de todo o nicho fundamental e sim somente uma porção, devido a fatores ecológicos e evolutivos, restringindo-se ao chamado nicho realizado.

Duas espécies de cobras-corais possuem amplo número de registros no estado do Rio Grande do Sul: *Micrurus altirostris* (Cope, 1859) e *Micrurus silviae* Di-Bernardo, Borges-Martins & Silva, 2007. *M. altirostris* é mais amplamente distribuída, se estendendo do Paraná até o Uruguai e ocupando as províncias argentinas de Misiones, Corrientes e o norte de Entre Rios, além do leste

do Paraguai (Silva & Sites, 1999; Carreira et al., 2005). Já *M. silviae*, espécie recentemente descrita, só possui registros no Rio Grande do Sul, ocupando áreas do oeste e norte do estado (Di-Bernardo et al., 2007).

Outras três espécies do gênero possuem registros escassos ou duvidosos dentro dos limites do Rio Grande do Sul: *Micrurus corallinus* (Merrem, 1820), *Micrurus decoratus* (Jan, 1858) e *Micrurus lemniscatus* (Linnaeus, 1758). *Micrurus corallinus* é a espécie com mais registros das três, porém todas as localidades são duvidosas, uma vez que seus dados em coleção estão incompletos ou os exemplares são provenientes de doações. Existem diversos espécimes colecionados no Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica de Porto Alegre, porém sem identificação de localidade, jamais tendo sido vista na natureza por um herpetólogo no Rio Grande do Sul (Lema, 1994). Mesmo assim, Campbell e Lamar (2004) consideraram sua distribuição no Brasil desde Minas Gerais e Espírito Santo até o Rio Grande do Sul, ocupando também áreas do nordeste de Misiones, na Argentina, leste do Paraguai, e chegando até o norte do Uruguai.

Micrurus decoratus possui somente um registro no Rio Grande do Sul, proveniente de São Leopoldo. Terribile et al. (2007) examinaram o material confirmando sua identificação, porém em comunicação pessoal com o coletor, Thales de Lema, constataram que a localidade provavelmente esteja errada. Esse registro e outros dois presentes no Paraná fazem com que sua distribuição potencial seja extrapolada para o sul do Brasil, mesmo que o restante dos registros seja da Floresta Pluvial Atlântica do sudeste do Brasil (Terribile et al., 2007). Campbell e Lamar (2004) consideraram que a espécie se distribuiu desde os estados de São Paulo, sul de Minas Gerais e sul do Rio de Janeiro, até Santa Catarina e nordeste do Rio Grande do Sul.

Micrurus lemniscatus possui dois registros para o estado, sendo um relativamente recente e confiável, visto que o espécime, armazenado na coleção do Museu de Ciências e Tecnologia da PUC-RS, foi responsável por um acidente ofídico em Eugênio de Castro (Di-Bernardo et al., 2001). Esta espécie possui ampla distribuição geográfica, ocorrendo desde a encosta amazônica dos Andes

colombianos e bacia Amazônica, até os estados do Paraná, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais (Campbell & Lamar, 2004). Esta ampla distribuição geográfica e sua grande variação morfológica ao longo dessa área tornam a espécie um complexo com fraca consistência taxonômica, o que foi confirmado por análise molecular (Silva & Sites, 2001).

Outras duas espécies de *Micrurus* atingem áreas próximas às fronteiras do Rio Grande do Sul, porém nunca tendo sido registradas no estado: *Micrurus baliocoryphus* (Cope, 1862) e *Micrurus pyrrhocryptus* (Cope, 1862). A primeira ocupa áreas entre os rios Paraná e Uruguai, nas províncias argentinas de Entre Rios, Corrientes e sul de Misiones (Campbell & Lamar, 2004; Scrocchi, 1990), além do sudeste do Paraguai (Silva & Sites, 1999). A segunda espécie possui uma distribuição mais ampla, desde o sul da Bolívia até o departamento de Rio Negro na Argentina, a oeste do rio Paraná, no noroeste do Paraguai e sudoeste dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, no Brasil (Silva & Sites, 1999; Campbell & Lamar, 2004; Scrocchi, 1990).

O presente estudo visa analisar a distribuição potencial das cinco espécies de *Micrurus* com registros no estado do Rio Grande do Sul (*M. altirostris*, *M. corallinus*, *M. decoratus*, *M. lemniscatus* e *M. silviae*) e das duas com registros próximos (*M. baliocoryphus* e *M. pyrrhocryptus*), através de ferramentas de modelagem de nicho ecológico, verificando se os modelos gerados são consistentes com a distribuição empiricamente determinada. Também visa comparar as distribuições potenciais das espécies com registros duvidosos, verificando se os modelos baseados em nicho climático sustentam a ocorrência das espécies no Rio Grande do Sul e se sua ocorrência independe do uso dos registros no estado. Através deste estudo será possível refinar o conhecimento a respeito da distribuição geográfica das espécies de corais no Rio Grande do Sul, bem como avaliar de maneira mais objetiva as probabilidades de ocorrência das espécies com registros duvidosos ou potenciais.

MATERIAIS & MÉTODOS

O método de modelagem de nicho ecológico escolhido para as estimativas foi o implementado no programa Maxent (Phillips et al., 2006). Sua escolha baseou-se no seu melhor desempenho em estudos comparativos entre diversos métodos (Elith et al., 2006), mesmo quando as amostragens são pequenas (Hernandez et al., 2006; Wisz et al., 2008). O Maxent é utilizado para fazer previsões a partir dos dados disponíveis de presença de espécies que são em sua grande maioria incompletos. O Maxent não necessita de dados reais de ausência (de difícil obtenção), sendo assim altamente adequado aos dados disponíveis sobre distribuição de serpentes, oriundos basicamente de coleções científicas. O programa utiliza de pontos de ocorrência e variáveis ambientais selecionadas, buscando assim um conjunto de restrições ambientais as quais a distribuição da espécie está submetida. A partir dessas restrições é gerado um mapa de distribuição potencial através da probabilidade da máxima entropia, com valores em escala logística que vão de 0 a 1, onde 1 seria a máxima probabilidade de encontro. A versão utilizada foi a 3.3.3, disponível online (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent>).

A performance preditiva do modelo é analisada pelo teste AUC (Area Under the receiver operating characteristic Curve), que mede a habilidade do modelo de discriminar entre a omissão de áreas com registros e a sobreprevisão de áreas não ocupadas, verificando se a distribuição potencial foi aleatória (Elith et al., 2006). Valores acima de 0,9 indicam uma excelente performance.

As variáveis ambientais são classificadas de acordo com sua contribuição relativa para a elaboração do modelo. O teste Jackknife mede a importância das variáveis, estimando o ganho quando a variável é aplicada isolada e a perda quando é omitida.

Foi elaborado um modelo treino para cada espécie, utilizando todas as localidades onde há registro das espécies para o desenvolvimento das restrições ambientais, e 30 modelos teste, que

selecionam aleatoriamente alguns pontos a serem omitidos, avaliando a precisão das regras. Nesses modelos teste a taxa de omissão foi de 25%, sendo considerado o valor AUC teste a média dos valores dos modelos.

As variáveis utilizadas foram retiradas do Worldclim (Hijmans et al., 2005; <http://www.worldclim.org/bioclim.htm>, acessado em 25 de junho de 2010), que emprega as médias climáticas de precipitação e temperatura dos últimos 50 anos, além de dados de altitude. Foram selecionadas dez variáveis climáticas dentre as 19 disponíveis, além da altitude (Tabela 1), buscando evitar uma sobreposição no comportamento das variáveis frente às modelagens. A resolução das camadas foi de 30 segundos. A abrangência da área foi delimitada de forma que contivesse as áreas de distribuições relatadas na literatura para as sete espécies trabalhadas, possibilitando uma maior aproximação das restrições ambientais as quais as espécies estão submetidas. Não foram incluídas áreas muito setentrionais de *Micrurus lemniscatus* e *Micrurus pyrrhocryptus* por causa falta de disponibilidade dos dados ou dificuldade de acessá-los. Os limites do corte, então, foram os seguintes: ao norte, a latitude 17,5° S, incluindo o estado do Espírito Santo; ao sul, a latitude 35,5° S, incluindo o Uruguai; a leste a longitude 39° W, incluindo o litoral brasileiro; e a oeste a longitude 63,5° W, incluindo o Paraguai.

Os dados de localidade foram compilados a partir das coleções científicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), da Universidade Federal de Santa Catarina (CHUFSC), do Museu de Ciências e Tecnologia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (MCP) e do Museu de Ciências Naturais da Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul (MCN). Foram adicionados os registros contidos na rede specieslink (<http://smlink.cria.org.br>), que disponibiliza dados de coleções científicas online para consulta. Através desse método, foi possível o acesso às coleções do Instituto Butantan de São Paulo (IBSP), do Museu de Zoologia da Universidade Estadual de Londrina (MZUEL), do Museu de Zoologia da Universidade Estadual de São Paulo (ZUEC), do Museu de Biologia Professor Mello Leitão, do Espírito Santo (MBML) e do

Sistema de Informação do Programa Biota (SinBiota). Foram ainda compilados dados de localidades provenientes da literatura especializada (Lema et al., 1984; Scrocchi, 1990; Silva & Sites, 1999; Carreira et al., 2005; Di-Bernardo et al., 2007; Terribile et al., 2007; Aguiar 2008). Como muitos registros não continham a precisão exata com georreferenciamento da localidade de encontro, foi considerada como esse ponto a sede do município em questão.

Tabela 1. Variáveis ambientais selecionadas e seus respectivos códigos no programa Worldclim.

<i>Código</i>	Variáveis Ambientais
ALT	Altitude
BIO 01	Temperatura Média Anual
BIO 04	Sazonalidade da Temperatura
BIO 06	Temperatura Mínima do Mês Mais Frio
BIO 10	Temperatura Média do Trimestre Mais Quente
BIO 11	Temperatura Média do Trimestre Mais Frio
BIO 12	Precipitação Anual
BIO 14	Precipitação do Mês Mais Seco
BIO 15	Sazonalidade da Precipitação
BIO 16	Precipitação do Trimestre Mais Úmido
BIO 17	Precipitação do Trimestre Mais Seco

As espécies trabalhadas foram divididas em três categorias de acordo com a confirmação da presença no estado do Rio Grande do Sul: (i) espécies amplamente registradas no estado, possuindo assim presença confirmada (*M. altirostris* e *M. silviae*); (ii) espécies com poucos registros no estado, em geral de forma duvidosa (*M. corallinus*, *M. lemniscatus* e *M. decoratus*); (iii) espécies com distribuição geográfica atingindo áreas limítrofes do estado e com registros em localidades próximas (*M. baliocorrhyphus* e *M. pyrrhocryptus*). Para as espécies com ocorrência duvidosa foram elaborados dois modelos, um considerando os raros registros no Rio Grande do Sul e outro excluindo esses registros. No caso de *M. lemniscatus* foram excluídos os registros de Misiones, na

Argentina. Foi utilizado um único ponto por localidade, de modo que não houvesse influência das localidades onde há mais registros sobre os modelos, já que uma grande quantidade de registros não reflete uma maior abundância, e sim um maior esforço amostral.

RESULTADOS

Foram compilados 5726 dados de ocorrência, sendo 2547 de *Micrurus altirostris*, 2243 de *Micrurus corallinus*, 435 de *Micrurus lemniscatus*, 226 de *Micrurus pyrrhocryptus*, 135 de *Micrurus decoratus*, 103 de *Micrurus baliocoryphus* e 37 de *Micrurus silviae*. Dos registros de *M. corallinus*, cinco foram Para o Rio Grande do Sul foram compilados 5 registros de *M. corallinus*, 2 de *M. lemniscatus* e 1 de *M. decoratus*, além dos 5 registros de *M. lemniscatus* para Misiones, na Argentina (Tabela 2).

Tabela 3. Registros duvidosos e escassos de *Micrurus* para o Rio Grande do Sul e Misiones.

Espécie	Número Coleção	Localidade	Ano	Referência
<i>M. corallinus</i>	MCN 3943	Porto Alegre	-	FZB
<i>M. corallinus</i>	IB 8131	São Leopoldo	2005	Specieslink
<i>M. corallinus</i>	MCP 8480	Encruzilhada do Sul	1997	PUC
<i>M. corallinus</i>	IB 50875	Carazinho	2005	Specieslink
<i>M. corallinus</i>	IB 55278	Santa Tereza	2005	Specieslink
<i>M. decoratus</i>	MCN 2769	São Leopoldo	1949	FZB
<i>M. lemniscatus</i>	MCP 11935	Eugênio de Castro	2000	PUC
<i>M. lemniscatus</i>	IB 17602	Carazinho, vila Pinheiro	2005	Specieslink
		Machado		
<i>M. lemniscatus</i>	CGC 16	Apostoles – Misiones	-	Silva & Sites, 1999
<i>M. lemniscatus</i>	CGC 6	Posadas – Misiones	-	Silva & Sites, 1999
<i>M. lemniscatus</i>	CHINM 1473	Posadas – Misiones	-	Silva & Sites, 1999
<i>M. lemniscatus</i>	CHINM 3382	Posadas – Misiones	-	Silva & Sites, 1999
<i>M. lemniscatus</i>	CHINM 2403	Puerto Azara – Misiones	-	Silva & Sites, 1999

Todos os modelos tiveram valores AUC altos, tanto no teste quanto no treino, sendo somente um abaixo de 0,9 (*Micrurus lemniscatus* sem os pontos do Rio Grande do Sul e Misiones; 0,8982), indicando excelentes performances preditivas dos modelos e que as previsões não foram aleatórias (Tabela 3).

Tabela 3. Valores AUC treino e teste (30 repetições) para cada modelo desenvolvido.

Espécie	AUC treino	AUC teste (média)
<i>Micrurus altirostris</i>	0,921	0,9024
<i>Micrurus silviae</i>	0,990	0,9743
<i>Micrurus corallinus</i>	0,943	0,9316
<i>Micrurus corallinus</i> (sem RS)	0,946	-
<i>Micrurus decoratus</i>	0,975	0,9669
<i>Micrurus decoratus</i> (sem RS)	0,980	-
<i>Micrurus lemniscatus</i>	0,937	0,8982
<i>Micrurus lemniscatus</i> (sem RS e Misiones)	0,947	-
<i>Micrurus baliocoryphus</i>	0,958	0,9361
<i>Micrurus lemniscatus</i>	0,946	0,9379

Não houve variável que em sua ausência gerou grande perda aos modelos, como demonstra os gráficos dos testes Jackknife de importância das variáveis, através da inclusão e exclusão de cada uma. Já na presença de uma única variável, os modelos tiveram ganhos diversos, de acordo com a sua importância para cada espécie (Figura 1). As contribuições percentuais de cada variável ambiental para os modelos elaborados diferem consideravelmente entre as espécies (Tabela 4). Em *Micrurus silviae* uma única variável, precipitação do mês mais seco, explicou praticamente todo modelo, com quase 90% de contribuição percentual. Já em *Micrurus corallinus*, a contribuição percentual se distribuiu mais entre as variáveis, com nenhuma variável ultrapassando 25% de contribuição.

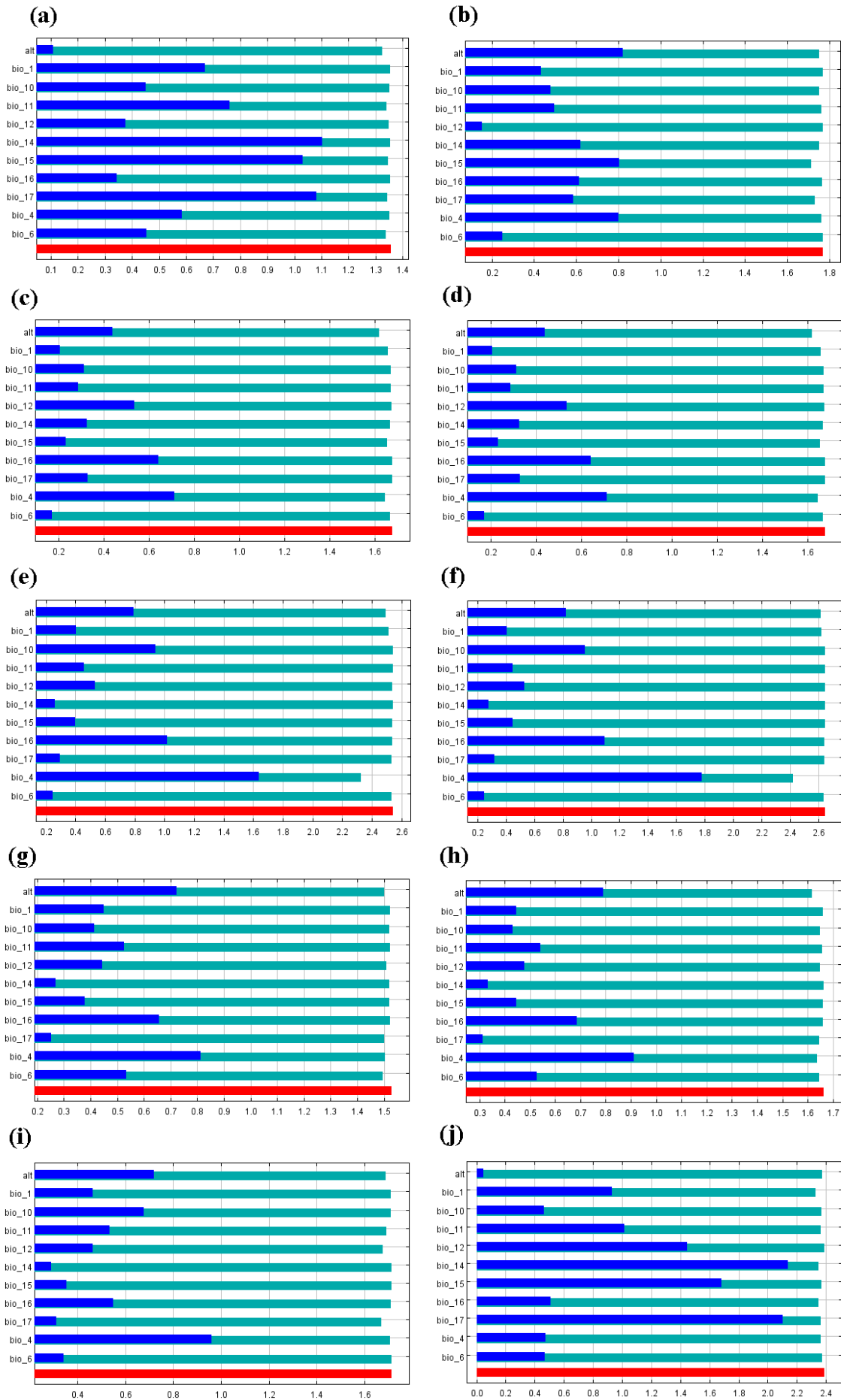


Figura 1. Gráficos dos testes Jackknife para *Micrurus altirostris* (a), *Micrurus baliocoryphus* (b), *Micrurus corallinus* (c e d, com e sem os registros gaúchos respectivamente), *Micrurus decoratus* (e e f, com e sem os registros gaúchos respectivamente), *Micrurus lemniscatus* (g e h, com e sem os registros do Rio Grande do Sul e de Misiones respectivamente), *Micrurus pyrrhocryptus* (i) e *Micrurus silviae* (j). O eixo “Y” representa as variáveis e o eixo “X” o ganho do modelo. As barras verdes representam o ganho do modelo sem a variável, as linhas azuis, o ganho apenas com a variável selecionada e a linha vermelha o ganho geral.

Tabela 4. Contribuição percentual das variáveis ambientais utilizadas para cada modelo.

Variáveis Ambientais	<i>M. altirostris</i>	<i>M. silviae</i>	<i>M. corallinus</i>	<i>M. corallinus</i> (sem RS)	<i>M. decoratus</i>	<i>M. decoratus</i> (sem RS)	<i>M. lemmiscatus</i>	<i>M. lemmiscatus</i> (sem RS e Misiones)	<i>M. baliocoryphus</i>	<i>M. pyrrhocrypus</i>
ALT	3,4	0,3	14,3	13,2	6,9	10,2	21,2	20,8	5,7	2,4
BIO 01	8	3,7	10,3	10,5	8,1	16	1,1	0,2	0	1,5
BIO 04	2,1	1	21,1	19,3	21,8	19,7	29,6	40,8	41,3	55,5
BIO 06	2,8	0,9	1,9	2,1	0,7	0,5	16,5	14,1	0,1	0
BIO 10	1,6	0	3,8	3,7	12,2	0	1,5	2,9	11,2	3,2
BIO 11	5,1	2,1	3,4	2,9	0,4	0,4	6,3	7,6	5	8,3
BIO 12	1,6	0	0,3	0,2	0,1	0,4	2,8	2,5	0	0,8
BIO 14	25,3	87,2	1,3	0,7	0	0	0,9	1,4	25,1	0,6
BIO 15	4,2	2,9	3,8	5,8	4,7	7,7	0,5	0,8	9,9	24,7
BIO 16	0,5	0,9	22,5	23,9	39,3	38,3	11,2	1,1	0,1	1,4
BIO 17	45,6	1,2	17,3	17,7	5,8	6,8	8,5	7,9	1,7	1,6

A distribuição potencial de *Micrurus altirostris* (Figura 2) foi muito semelhante àquela relatada por Silva e Sites (1999), ocorrendo do Paraná ao Rio Grande do Sul, no Brasil, sudeste do Paraguai, Misiones e leste de Corrientes, na Argentina, e em todo território uruguaio. Sua maior probabilidade de encontro no Rio Grande do Sul se encontra na Depressão Central, encosta leste do Escudo Sul Rio-Grandense, encosta da Serra Gaúcha, grande Porto Alegre e litoral norte. Fora do estado ainda há alta probabilidade no litoral sul do Uruguai e algumas regiões mais altas no Paraná.

Da mesma forma, *Micrurus silviae* obteve um resultado semelhante ao relatado na literatura (Di-Bernardo et al., 2007), com as áreas de maior probabilidade se encontrando a oeste e norte do Rio Grande do Sul. Porém a área de ocorrência foi extrapolada, havendo áreas potenciais na Depressão Central, oeste do Paraná, oeste de Santa Catarina e leste de Misiones (Figura 2).

Os dois modelos obtidos para *Micrurus corallinus* (Figura 3) obtiveram resultados semelhantes quanto às áreas de alta probabilidade de encontro. Essas áreas se localizam do sul do litoral carioca

ao norte do litoral catarinense, ao longo da Serra do Mar. A espécie alcança áreas mais ao interior em São Paulo e Paraná, acompanhando as florestas tropicais e subtropicais semi-decíduas e sempre verdes, conforme o esperado pelo relatado na literatura (Campbell & Lamar, 2004). No Rio Grande do Sul, quando foram utilizados os registros gaúchos, a área de baixa probabilidade se estendeu no litoral gaúcho até a barra da laguna dos Patos, além da grande Porto Alegre e algumas áreas isoladas.

Os resultados obtidos para *Micrurus decoratus* foram mais restritivos que os relatados na literatura (Campbell & Lamar, 2004). Sua maior probabilidade de encontro ficou concentrada na região da Serra do Mar, em São Paulo e litoral sul carioca. Nenhum dos modelos incluiu o Rio Grande do Sul como área de distribuição potencial da espécie.

Os modelos gerados para *Micrurus lemniscatus* incluindo e excluindo os registros gaúchos e de Misiones foram diferentes, de forma que em suas presenças, o modelo indicou uma área do nordeste do Rio Grande do Sul como de baixa probabilidade de encontro. As áreas com maiores probabilidades de encontro apontadas são a Mata Atlântica paulista e carioca, se estendendo com menor probabilidade pelo estado de Minas Gerais, norte do Paraná, sul de Mato Grosso do Sul e sul de Espírito Santo.

A distribuição potencial estimada para *Micrurus baliocoryphus* foi semelhante àquela apontada por Silva e Sites (1999). A maior probabilidade de encontro da espécie ficou nos estados argentinos de Corrientes, sul de Misiones e norte de Entre Ríos, além do sul do Paraguai. Para o Rio Grande do Sul, foi indicada a região das Missões, a oeste do estado, com probabilidades de alta a baixa, a medida que se vai em direção leste. O leste dos estados de Formosa, Chaco e Santa Fé, na Argentina, o noroeste do Uruguai e o sudeste do Paraguai também foram apontados com áreas de baixa probabilidade.

Para *Micrurus pyrrhocryptus* o modelo foi mais restritivo do que a distribuição apontada por Silva e Sites (1999), não atingindo áreas ao norte, como norte do Paraguai e oeste de Mato Grosso

do Sul. Porém, localmente a distribuição potencial foi semelhante ao relatado pelo mesmo trabalho, ficando as áreas de maior probabilidade de encontro a oeste do rio Paraná, nas províncias Chaco, norte de Santa Fé e Santiago Del Estero, além do sul de Formosa. O máximo a leste atingido pela distribuição potencial foi o oeste de Corrientes e Entre Ríos, não chegando ao território gaúcho.

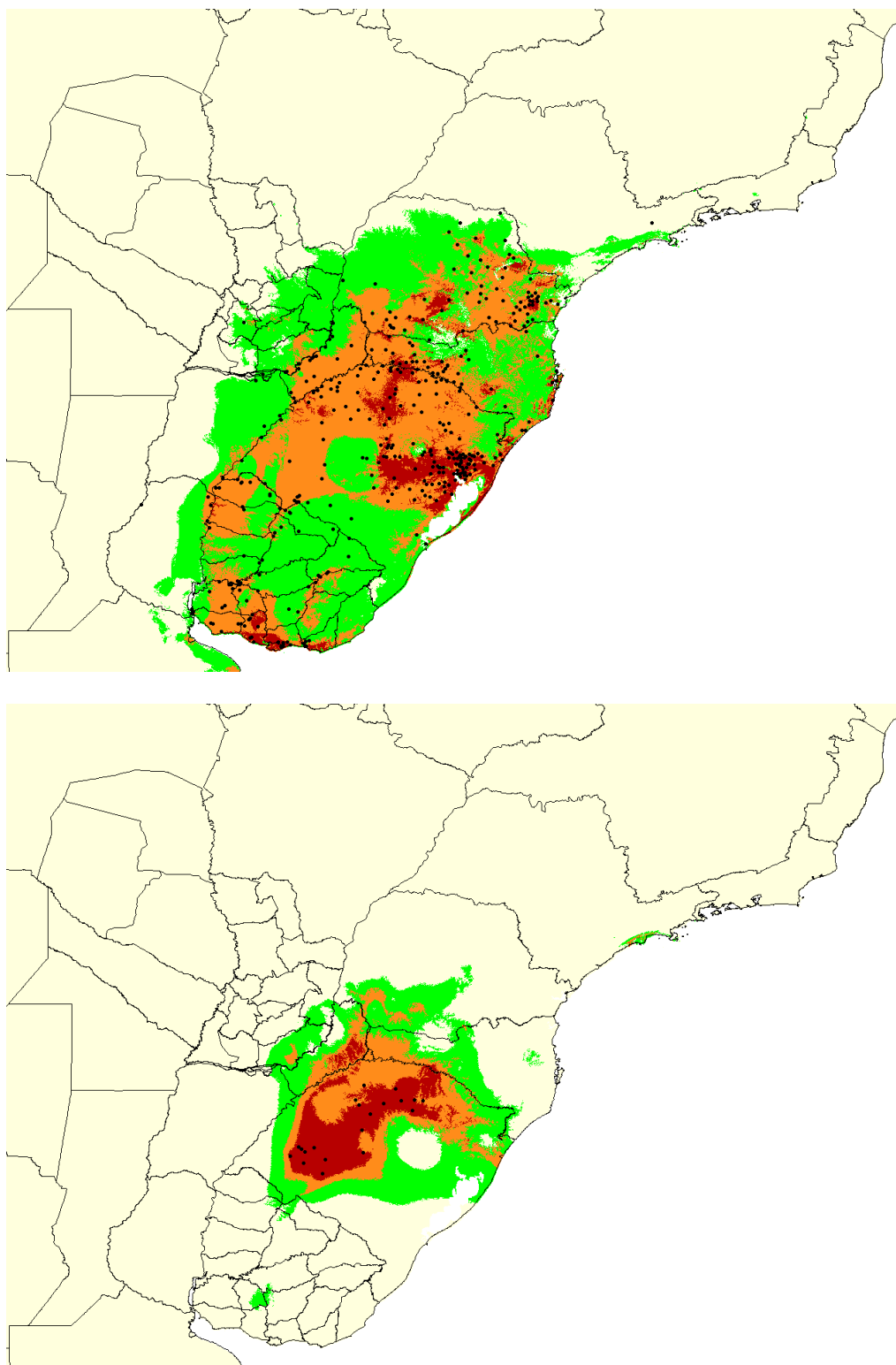


Figura 2. Distribuições potenciais de *Micrurus altirostris* (acima) e *Micrurus silviae* (abaixo). Os pontos representam os registros utilizados no modelo. As áreas vermelhas representam alta probabilidade de encontro (0,6-1), as laranjas, moderada (0,4-0,6) e as verdes, baixa (0,1-0,4).

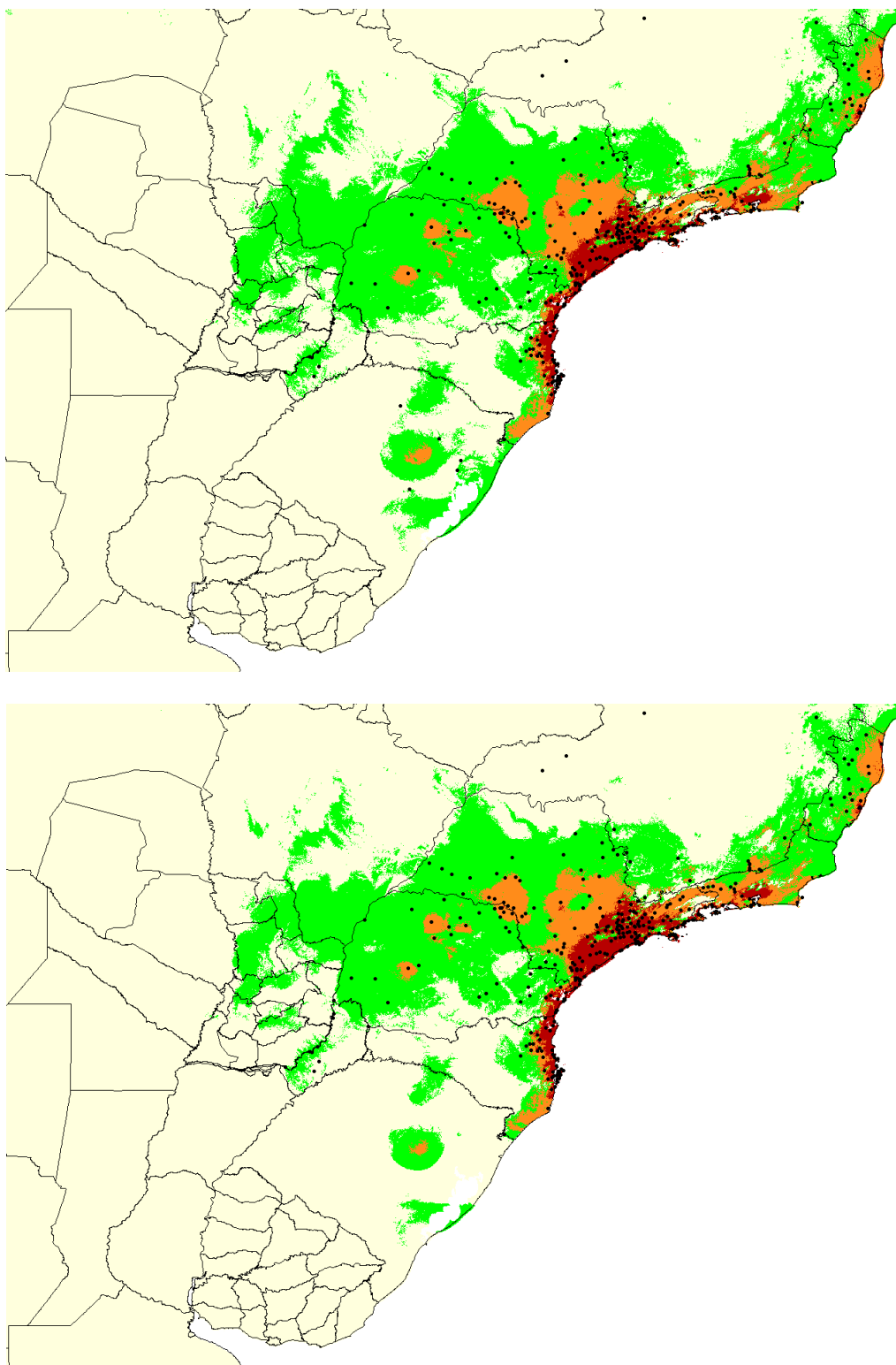


Figura 3. Distribuição potencial de *Micrurus corallinus* com (acima) e sem (abaixo) os registros do Rio Grande do Sul. Os pontos representam os registros utilizados no modelo. As áreas vermelhas representam alta probabilidade de encontro (0,6-1), as laranjas, moderada (0,4-0,6) e as verdes, baixa (0,1-0,4).

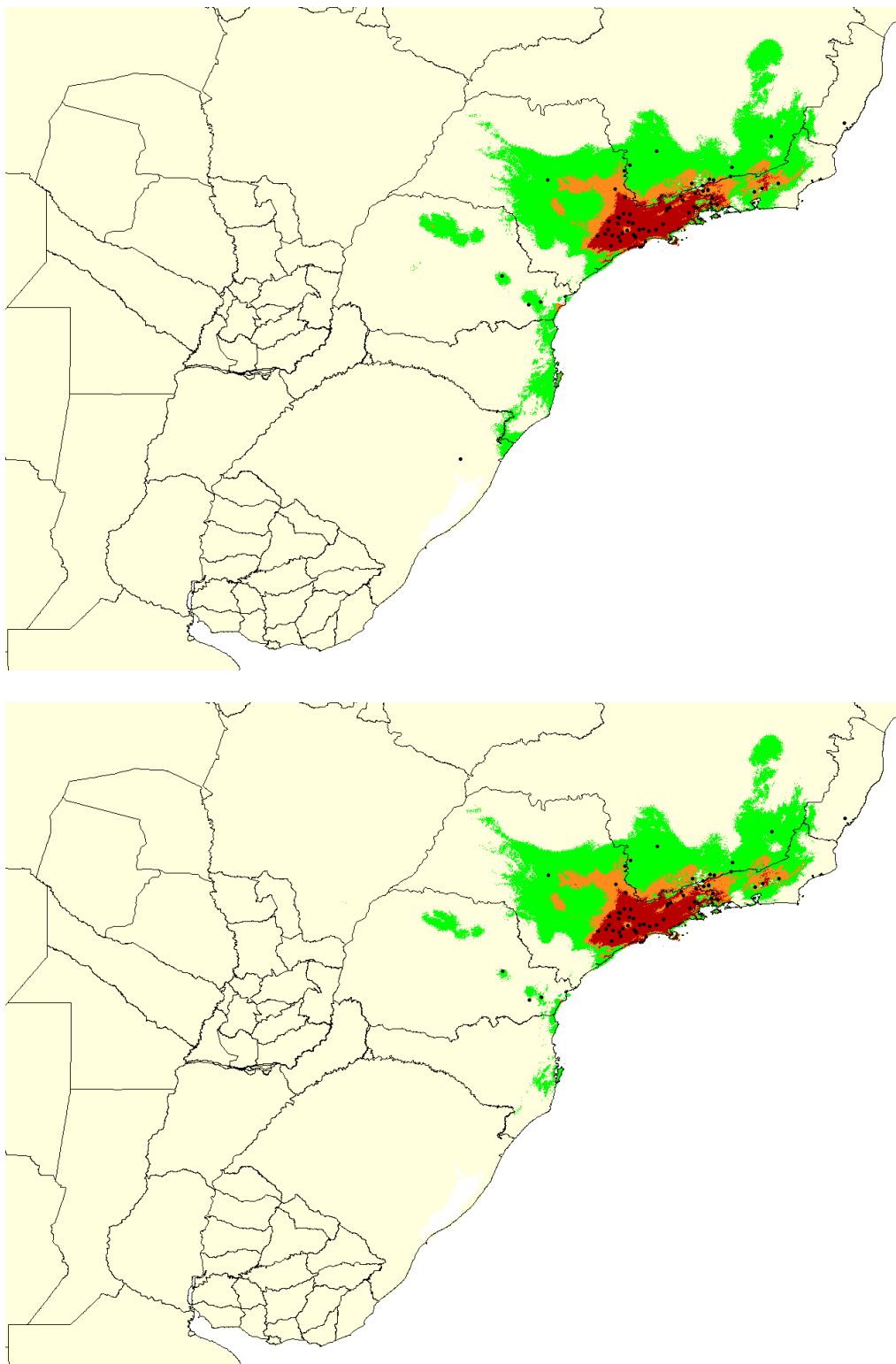


Figura 4. Distribuição potencial de *Micrurus decoratus* com (acima) e sem (abaixo) os registros do Rio Grande do Sul. Os pontos representam os registros utilizados no modelo. As áreas vermelhas representam alta probabilidade de encontro (0,6-1), as laranjas, moderada (0,4-0,6) e as verdes, baixa (0,1-0,4).

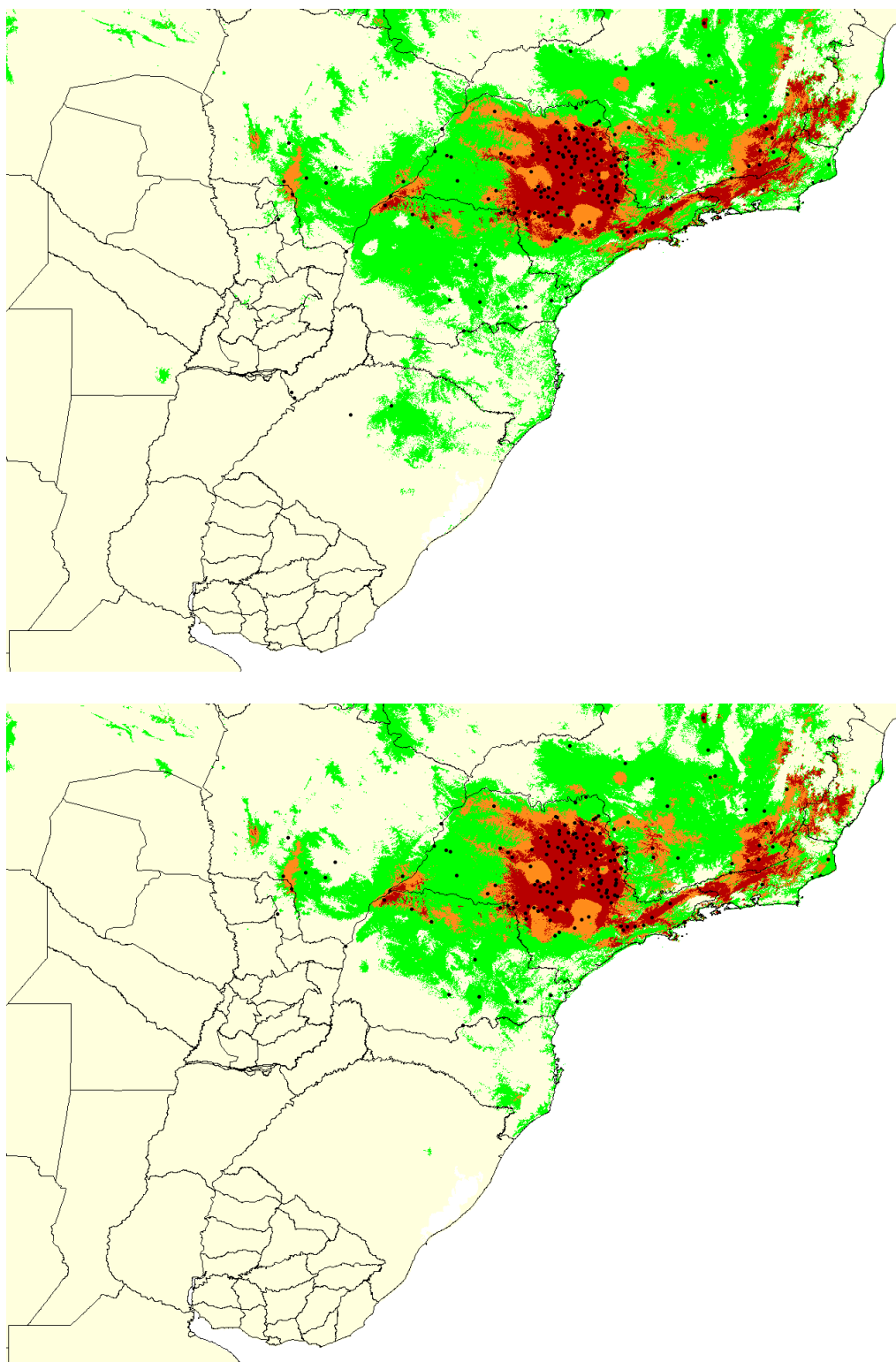


Figura 5. Distribuição potencial de *Micrurus lemniscatus* com (acima) e sem (abaixo) os registros do Rio Grande do Sul e Misiones. Os pontos representam os registros utilizados no modelo. As áreas vermelhas representam alta probabilidade de encontro (0,6-1), as laranjas, moderada (0,4-0,6) e as verdes, baixa (0,1-0,4).

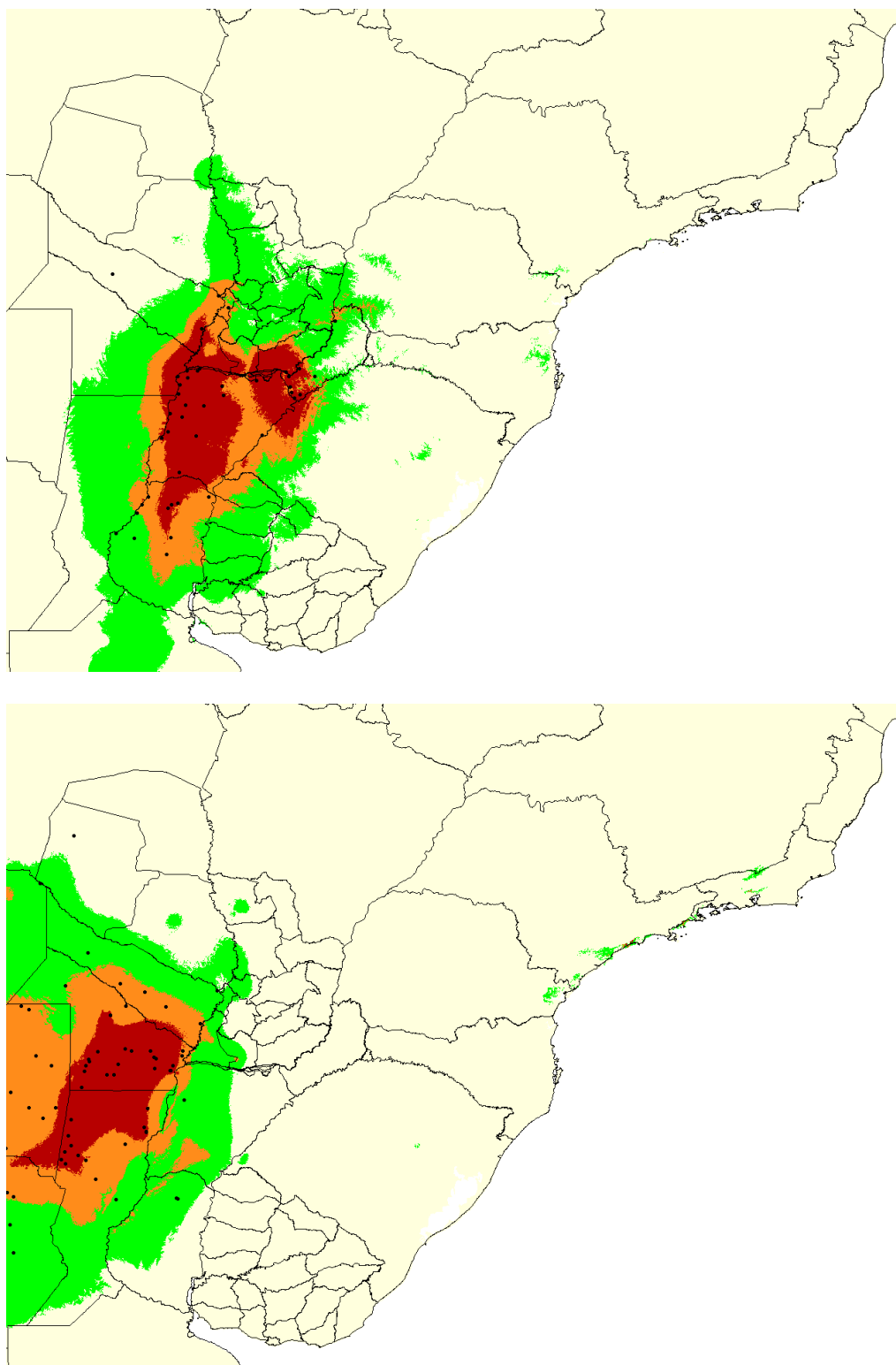


Figura 6. Distribuições potenciais de *Micrurus baliocoryphus* (acima) e *Micrurus pyrrhocryptus* (abaixo). Os pontos representam os registros utilizados no modelo. As áreas vermelhas representam alta probabilidade de encontro (0,6-1), as laranjas, moderada (0,4-0,6) e as verdes, baixa (0,1-0,4).

DISCUSSÃO

A cobra-coral mais comum no estado do Rio Grande do Sul, *Micrurus altirostris*, demonstrou ter uma distribuição potencial semelhante àquela esperada de acordo com o que foi encontrado na literatura, habitando florestas sazonais do sul do Brasil (Silva & Sites, 1999; Campbell & Lamar, 2004) e diminuindo sua probabilidade de encontro em áreas campestres do sul do Brasil e Uruguai.

Entretanto, pode ter ocorrido um problema de tendência nas amostragens, visto que áreas campestres são menos amostradas que formações florestais no estado. Além disso, a grande probabilidade de encontro na Grande Porto Alegre e Depressão Central pode ser um reflexo de uma maior amostragem na região, já que em Porto Alegre se encontram as três mais importantes coleções herpetológicas do estado (MCN, MCP e UFRGS). A coleção MCN possui um fator adicional, pois está associada ao Núcleo Regional de Ofidismo de Porto Alegre (NOPA), que mantém uma criação em cativeiro de serpentes peçonhentas para fins científicos e recebe amostras de serpentes por doações de colaboradores quando as encontram, aumentando o esforço amostral na região. Isso deve ocorrer também na região metropolitana de Montevideú, onde a probabilidade de encontro foi indicada como alta e há uma grande quantidade de registros para diversas localidades. Uma área apontada como de alta probabilidade de encontro, o litoral médio do Rio Grande do Sul, na península de Mostardas, não possui registros da espécie. As variáveis ambientais que mais influenciaram o modelo foram: precipitação do trimestre mais seco e precipitação do mês mais seco, o que já era esperado, já que sua atividade aumenta na estação chuvosa, durante a primavera e verão (Marques et al., 2006). Entretanto, por ocorrer em latitudes mais frias (Marques et al., 2006), se esperava uma maior importância das camadas ambientais relacionadas à temperatura.

A região de maior probabilidade de encontro de *Micrurus silviae*, o oeste e norte do Rio Grande do Sul, foi a esperada de acordo com o relatado na literatura (Di-Bernardo et al., 2007). Uma

grande região, a oeste do estado, de alta probabilidade de encontro de *M. silviae* coincide com uma região onde há uma diminuição nas probabilidades do modelo para *Micrurus altirostris* (Figura 2), o que pode refletir em uma maior abundância relativa de *M. silviae* em relação a *M. altirostris* localmente. As variáveis que obtiveram maior ganho quando utilizadas sozinhas em um modelo foram precipitação do mês mais seco e precipitação do trimestre mais seco, enquanto altitude teve o menor ganho. Uma única variável explicou 87,2% do modelo, precipitação do mês mais seco. Essa variável deve ser limitante para a distribuição da espécie.

A distribuição potencial de *Micrurus corallinus* quando utilizados os registros gaúchos foi semelhante à esperada conforme Campbell e Lamar (2004), atingindo o litoral norte do Rio Grande do Sul. Porém, na ausência desses registros diminui a área de probabilidade de ocorrência no estado, não havendo continuidade da área gaúcha em relação ao restante da extensão territorial. Os resultados pouco contribuem para a confirmação da ocorrência da espécie no Rio Grande do Sul, visto que a probabilidade de encontro diferiu consideravelmente entre os dois modelos e somente a identificação de espécimes no estado trariam essa confirmação. As importâncias das variáveis pouco diferiram entre os dois modelos (Tabela 3), sendo as mesmas as que mais contribuíram na elaboração dos modelos: precipitação do trimestre mais chuvoso, sazonalidade na temperatura e precipitação do trimestre mais seco. Tanto a pluviosidade quanto a temperatura parecem influenciar a distribuição da espécie. Segundo Marques (1996), a atividade da espécie sofre um decréscimo em baixas temperaturas e baixa pluviosidade. O comportamento dessas variáveis ocorre possivelmente porque a espécie habita áreas de Mata Atlântica.

Já *Micrurus decoratus* provavelmente não ocorre no Rio Grande do Sul, aumentando a possibilidade de ocorrência de um erro relacionado com a localidade de São Leopoldo. Ambos os modelos elaborados não indicaram presença considerável para o estado. O modelo indicou somente uma pequena região de Mata Atlântica no litoral norte, com probabilidade inferior a 0,4, isolada do restante da área contínua do sudeste do Brasil, quando se incluiu o ponto de São Leopoldo. O

modelo gerado foi mais restritivo que aquele apresentado por Campbell e Lamar (2004), que considera uma área contínua desde Espírito Santo até o Rio Grande do Sul, pelo litoral. Também diferiu do modelo proposto por Terribile e colaboradores (2007) com outro programa de modelagem de distribuição geográfica baseado em um algoritmo genético, o GARP (Stockwell & Noble, 1991), que expandiu mais a distribuição potencial, considerando áreas do norte do Paraná, sudeste de Santa Catarina e sudeste de Minas Gerais como áreas de moderada probabilidade de encontro. As variáveis ambientais se comportaram de forma diferente em cada modelo elaborado para *M. decoratus* (Tabela 3): enquanto as duas variáveis que mais influenciaram o modelo foram as mesmas (precipitação do trimestre mais chuvoso e sazonalidade da temperatura), a terceira diferiu. O modelo que incluiu o ponto gaúcho considerou a temperatura média do trimestre mais quente, enquanto na ausência do ponto foi temperatura média anual. No caso da temperatura do trimestre mais quente a diferença foi extrema, de forma que no modelo sem o ponto gaúcho a influência da variável foi nula. Por ser uma região de latitude mais fria, o ponto gaúcho aumentou a amplitude de tolerância para a temperatura.

Os modelos elaborados para *Micrurus lemniscatus* geram a maior distribuição potencial de todas as espécies estudadas. No modelo com os registros gaúchos e argentinos os pontos duvidosos no Rio Grande do Sul foram inclusos em áreas com baixa probabilidade de encontro ou próxima a elas, porém as localidades de Misiones na Argentina onde existem registros da espécie não foram inclusas. Como foram indicadas áreas com baixa probabilidade de encontro no Rio Grande do Sul, e existem outros registros a serem confirmados em latitudes semelhantes, o limite sul da distribuição da espécie deve ser confirmado através de novos encontros. A distribuição potencial foi semelhante àquela apresentada por Campbell e Lamar (2004) como extensão territorial de *Micrurus lemniscatus carvalhoi*. Entretanto é provável que a espécie ocupe uma área maior, visto que não foram inclusos dados da espécie de estados que abrangem maiores áreas do bioma Cerrado, o qual a espécie é conhecida como componente da herpetofauna. Em ambos os modelos as

mesmas três variáveis obtiveram as maiores influências: sazonalidade da temperatura, altitude e temperatura mínima do mês mais frio (Tabela 3). A espécie ocupa áreas de floresta sazonal e cerrado (Campbell & Lamar, 2004), com marcada sazonalidade em relação à pluviosidade, de forma que a espécie seria pouco restritiva quanto a essa variável. Por ser uma espécie mais tropical em relação às outras do estudo, a temperatura teria uma influência maior em sua distribuição.

A distribuição potencial de *Micrurus baliocoryphus* concentrou as mais altas probabilidades de encontro entre os rios Paraná e Uruguai, pouco ultrapassando essas fronteiras. O modelo indicou o oeste do Rio Grande do Sul chegando à alta probabilidade de encontro. É provável que esses rios sejam uma barreira geográfica para a dispersão da espécie, já que seus registros se concentram nessa área, explicando sua ausência no estado. Somente encontros fora desses limites poderiam expandir sua área de ocupação conhecida. Essa distribuição se assemelha ao relatado por Silva e Sites (1999) e Campbell e Lamar (2004). As variáveis que mais contribuíram para a elaboração do modelo foram temperatura sazonal, precipitação do mês mais seco e temperatura média do trimestre mais quente (Tabela 3).

Já *Micrurus pyrrhocryptus* não atingiu áreas gaúchas. Localmente, sua distribuição potencial foi semelhante à descrita por Silva e Sites (1999) e Campbell e Lamar (2004), ocupando áreas a oeste do rio Paraná com mais alta probabilidade de encontro. Porém, não foram utilizados dados de latitudes menores, restringindo mais sua distribuição. As variáveis que mais contribuíram na modelagem foram temperatura sazonal, precipitação sazonal e temperatura média do trimestre mais frio (Tabela 3).

Os modelos gerados a partir dos dados de coleções científicas, utilizando algoritmos de modelagem de nicho, se mostraram eficientes em recuperar em grande parte as distribuições esperadas a partir dos registros conhecidos. Contudo, o mais importante é que os modelos se mostraram uma ótima ferramenta para gerar hipóteses de distribuição que podem ser testadas e re-analisadas a partir de novos dados de registro, ou novas interpretações dos limites taxonômicos das

unidades consideradas nas análises. Apesar das revisões recentes de alguns grupos, como o complexo *M. frontalis* (Silva & Sites, 1999), ainda há problemas taxonômicos envolvendo as espécies deste gênero, especialmente nas regiões temperadas do cone sul da América do Sul. Da mesma forma, a existência de indicação de condições bioclimáticas para a ocorrência de algumas espécies em áreas onde estas parecem não ocorrer, indicam questões interessantes que devem ser abordadas em termos biogeográficos e ecológicos. O estudo destas questões podem contribuir para um aumento no conhecimento da evolução da distribuição destes grupos, bem como da importância das diferentes barreiras geográficas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, L. F. S. 2008. História natural de *Micrurus altirostris* (Cope, 1860) (Serpentes, Elapidae, Elapinae). Tese de Doutorado. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Zoologia. Porto Alegre. 104 pág.
- ÁVILA, R. W.; KAWASHITA-RIBEIRO, R. A.; FERREIRA, V. L.; STRÜSSMANN, C. 2010. Natural history of the coral snake *Micrurus pyrrhocryptus* Cope 1862 (Elapidae) from semideciduous forests of western Brazil. *South American Journal of Herpetology*. 5 (2): 97 - 101.
- CAMPBELL, J. A.; LAMAR, W. W. 2004. The venomous reptilians of the western hemisphere. Volume I. Cornell University Press, Ithaca, New York. 425 pág.
- CARREIRA, S.; MENEGHEL, M.; ACHAVAL, F. 2005. Reptiles del Uruguay. Edición Di.R.A.C., Facultad de Ciências, Universidad de La República. Montevideo. 639 pág.
- DI-BERNARDO, M.; BORGES-MARTINS, M.; CAPPELLARI, L. H. 2001. *Micrurus lemniscatus*. *Herpetological Review*. 32 (1): 60 - 61.
- DI-BERNARDO, M.; BORGES-MARTINS, M.; SILVA, N. J. 2007. A new species of coralsnake (*Micrurus*: Elapidae) from southern Brazil. *Zootaxa*. 1447: 1 - 26.
- ELITH, J.; GRAHAM, C. H.; ANDERSON, R. P.; DUDIK, M.; FERRIER, S.; GUISAN, A.; HIJMANS, R. J.; HUETTMANN, F.; LEATHWICK, J. R.; LEHMANN, A.; LI, J.; LOHMANN, L. G.; LOISELLE, B. A.;

MANION, G.; MORITZ, C.; NAKAMURA, M.; NAKAZAWA, Y.; OVERTON, J. M.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, S. J.; RICHARDSON, K.; SCACHETTI-PEREIRA, R.; SCHAPIRE, R. E.; SOBERON, J.; WILLIAMS, S.; WISZ, M. S.; ZIMMERMANN, N. E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129 – 151

GARCIA, A. 2006. Using ecological niche modelling to identify diversity hotspots for the herpetofauna of Pacific lowlands and adjacent interior valleys of México. *Biological Conservation*. 130: 25 - 46.

HERNANDEZ, P. A.; GRAHAM, C. H.; MASTER, L. L.; ALBERT, D. L. 2006. The effect of sample size and species characteristics on performance of different species distribution modeling methods. *Ecography*. 29 (5): 773 - 785.

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965 - 1978.

HUTCHINSON, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symp Quantitative Biol*. 22: 415 - 427.

KUMAR, S.; STOHLGREN, T. J. 2009. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment*. 1 (4): 094 - 098.

- LEMA, T. DE; VIEIRA, M. I.; ARAÚJO, M. L. 1984. Fauna reptiliana do norte da Grande Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia*. 2 (4): 203 - 227.
- LEMA, T. DE. 1994. Lista comentada dos répteis ocorrentes no Rio Grande do Sul, Brasil. *Comum. Mus. Ciên. Tecnol. PUCRS, Série Zoologia*. Porto Alegre. 7: 41 - 150.
- MARINI, M. A.; BARBET-MASSIN, M.; MARTINEZ, J.; PRESTES, N. P.; JIGUET, F. 2010. Applying ecological niche modelling to plan conservation actions for the Red-spectacled Amazon (*Amazona pretrei*). *Biological Conservation*. 143: 102 - 112.
- MARQUES, O.A.V. 1996. Reproduction, seasonal activity and growth of the *Micrurus corallinus* (Serpentes, Elapidae). *Amphibia-Reptilia*, 17: 277 - 285.
- MARQUES, O. A. .V. 2002. Natural history of the coral snake *Micrurus decoratus* (Elapidae) from the Atlantic Forest in southeast Brazil, with comments on possible mimicry. *Amphibia-Reptilia*. 23: 228 - 229.
- MARQUES, O. A.; ALMEIDA-SANTOS, S. M.; RODRIGUES, M. G. 2006. Activity patterns in coralsnakes, genus *Micrurus* (Elapidae) in south and southeastern Brazil. *South American Journal of Herpetology*. 1(2): 99 - 105.
- MARTÍNEZ-MEYER, E.; PETERSON, A. T.; HARGROVE, W. W. 2004. Ecological niches as stable distributional constraints on mammal species, with implications for Pleistocene extinctions and climate change projections for biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*. 13: 305 - 314.

- PAPES M.; GAUBERT, P. 2007. Modelling ecological niches from low numbers of occurrences: assessment of the conservation status of poorly known viverrids (Mammalia, Carnivora) across two continents. *Diversity and Distributions*. 13: 890 - 902.
- PEARSON, R. G.; RAXWORTHY, C. J.; NAKAMURA, M.; PETERSON, A. T. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*. 34: 102 - 117.
- PETERSON, A. T. 2003. Predicting the geography of species' invasions via ecological niche modeling. *The Quarterly Review of Biology*. 78 (4): 419 - 433.
- PETERSON, A. T. 2006. Uses and requirements of ecological niche models and related distributional models. *Biodiversity Informatics*. 3: 59 - 72.
- PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231 - 259.
- ROZE, J. A. 1996. Coral snakes of the America: biology, identification, and venoms. Krieger Publishing Co, Florida, 262 pág.
- SCROCCHI, G. J. 1990. El género *Micrurus* (Serpentes: Elapidae) en la República Argentina. *Boll. Mus. reg. Sci. nat. Torino*. 8 (2): 343 - 368.

- SILVA, JR., N. J.; SITES, JR., J. W. 1999. Revision of the *Micrurus frontalis* complex (Serpentes: Elapidae). *Herpetological Monographs*. 13: 142 - 194.
- SILVA, JR., N. J.; SITES, JR., J. W. 2001. Phylogeny of south american triad coral snakes (Elapidae: *Micrurus*) based on molecular characters. *Herpetologica*. 57 (1): 1 - 22.
- SOBERÓN, J.; PETERSON, A. T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species' distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 2: 1 - 10.
- STOCKWELL, D. R. B.; NOBLE, I. R. 1991. Induction of sets of rules from animal distribution data: a robust and informative method of data analysis. *Mathematics and Computers in Simulation*. 32: 249 - 254.
- TERRIBILE, L. C.; ANACLETO, T. C.; SILVA, N. J.; DINIZ-FILHO, J. A. 2007. Potential geographic distribution of the coralsnake *Micrurus decoratus* Jan, 1858 (Serpentes, Elapidae) in the Atlantic Rain Forest of Brazil. *Arquivos do Museu Nacional*. 65 (2): 217 - 223.
- WEN, F. H. 2003. Soroterapia; 37: 380 – 393. Em: CARDOSO, J. L. C, FRANÇA, F. O. S., WEN, F. H., MÁLAQUE, C. M. S, HADDAD, V (Eds). *Animais peçonhentos no Brasil: biologia, clínica e terapêutica dos acidentes*. Sarvier, Fapesp. São Paulo.
- WISZ, M. S.; HIJMANS, R. J.; LI, J.; PETERSON, A. T.; GRAHAM, C. H.; GUISAN, A.; NCEAS PREDICTING SPECIES DISTRIBUTION WORKING GROUP 2008. Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*. 14: 763 - 773.