

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI
E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, EXTENSÃO E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

RAFAELA MARTINELLI DA COSTA

**DE ESCAMA A ESCAMA: ECOMORFOLOGIA DE
MICRUCRUS GAÚCHAS (SERPENTE: ELAPIDAE)**

ERECHIM, MARÇO DE 2020.

RAFAELA MARTINELLI D COSTA

DE ESCAMA A ESCAMA: ECOMORFOLOGIA DE
MICRUCRUS GAÚCHAS (SERPENTE: ELAPIDAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ecologia.

Linha de Pesquisa: Ecologia e Conservação da Biodiversidade

Orientador(es):

Prof. Dr. Rodrigo Fornel

Dr. Jorge Sebastião Bernardo Silva

ERECHIM, MARÇO DE 2020.

ERECHIM, MARÇO DE 2020.
RAFAELA MARTINELLI DA COSTA

DE ESCAMA A ESCAMA: ECOMORFOLOGIA DAS *MICRURUS* GAÚCHAS
(SERPENTE: ELAPIDAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ecologia. Área de Concentração: Gestão e Conservação Ambiental.

Linha de Pesquisa
Ecologia e Conservação da Biodiversidade

Orientadores
Prof. Dr. Rodrigo Fornel
Prof. Jorge Sebastião Bernardo Silva

ERECHIM, MARÇO DE 2018

C837e Costa, Rafaela Martinelli da

De escama a escama : ecomorfologia de *Micrurus* gaúchas (serpente : elapidae)
/ Rafaela Martinelli da Costa. – 2020.

51 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai
e das Missões, Erechim, 2020.

“Orientação: Dr. Rodrigo Fornel, Dr. Jorge Sebastião Bernardo Silva”

1. Ecomorfologia 2. Morfometria geométrica 3. Serpente I. Título

C.D.U.: 598.12

Catálogo na fonte: bibliotecária Sandra Milbrath CRB 10/1278

RAFAELA MARTINELLI DA COSTA

DE ESCAMA A ESCAMA: ECOMORFOLOGIA DAS *MICRURUS* GAÚCHAS
(SERPENTE: ELAPIDAE)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ecologia. Área de Concentração: Gestão e Conservação Ambiental.

BANCA EXAMINADORA

RODRIGO FORNEL (Orientador)

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Erechim

JORGE SEBASTIÃO BERNARDO-SILVA (Orientador)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

PAULO AFONSO HARTMANN

Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim

JORGE REPPOLD MARINHO

Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Campus de Erechim

Agradecimentos

Agradeço a minha família por todo apoio e ajuda, agradeço toda a equipe do Ecomorf que me ensinou como tudo funciona e me apoiou, agradecimentos especiais ao meu orientador que sempre me ajudou dentro e fora do mestrado, e ao meu coorientador por todo suporte. Agradeço a URI-Erechim pela oportunidade e o auxílio com a bolsa PROSUC-CAPES. Agradeço a todos os envolvidos que de alguma forma direta ou indireta me ajudaram durante a pesquisa.

RESUMO

As características ambientais exercem pressões sobre os organismos. Essa pressão pode ter relação direta com a morfologia dos indivíduos, assim como os indivíduos podem possuir uma morfologia já adaptada para os mais diversos habitats. Dentre os organismos com morfologias interessantes a serem estudados estão as serpentes. O presente estudo analisou as serpentes da família Elapidae que são amplamente distribuídas pelo planeta, e possuem características gerais bem adaptadas a diversos ambientes (áridos, marinhos e florestais). As serpentes do gênero *Micrurus* são as representantes da família Elapidae nas Américas, são conhecidas como cobras-corais, devido sua coloração vibrante relacionada a defesa, além de estarem divididas em dois grupos filogenéticos (Monadais e Triadais). O presente estudo visou identificar as diferenças morfológicas entre as espécies desse gênero e buscou testar as seguintes hipóteses: Há diferenças morfológicas entre os espécimes de *Micrurus altirostris* que ocupam Mata Atlântica e os espécimes que ocupam o Pampa devido as diferentes características ambientais. Já a segunda hipótese, assume que, por se tratar de duas linhagens filogenéticas distintas, *Micrurus altirostris* e *Micrurus silviae* possuem um tamanho e forma similar quando comparadas a *Micrurus corallinus* (Merrem, 1820) que deriva de um ramo filogenético distante. A amostra consistiu de 272 serpentes de diferentes coleções científicas fotografadas em diferentes vistas da região cefálica. Técnicas de morfometria geométrica foram usadas para quantificar a forma e o tamanho. Assim o presente estudo analisou as escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal das espécies do gênero *Micrurus*. Nossos resultados indicam que não existe diferença significativa entre os indivíduos de *M. altirostris* que habitam a Mata Atlântica e o Pampa no quesito tamanho das escamas cefálicas, porém existe uma diferença sutil na forma das escamas cefálicas entre os indivíduos que habitam os dois biomas. Quando analisadas as três espécies observou-se que existe diferença significativa no tamanho e forma das escamas cefálicas das diferentes espécies de *Micrurus*, e essas diferenças estão relacionadas as diferentes linhagens filogenéticas das mesmas.

ABSTRACT

The environmental characteristics exert pressures on the organisms. This pressure could have a direct relation with the morphology of the individuals, just as the individuals could have a morphology already adapted for the most diverse habitats. Among the organisms with interesting morphologies to be studied are snakes. The present study analyzed snakes of the Elapidae family that are widely distributed across the planet, and have general characteristics well adapted to different environments (arid, marine and forest). The snakes of the genus *Micrurus* are the representatives of the family Elapidae in the Americas, are known as coral snakes, due to their vibrant coloring related to defense, in addition to being divided into two phylogenetic groups (Monadais and Triadais). The present study aimed to identify the morphological differences between species of this genus behind the following hypotheses: There are morphological differences between the specimens of *Micrurus altirostris* that occupy the Atlantic Forest and the specimens that occupy the Pampa due to the different environmental characteristics. The second hypothesis, on the other hand, assumes that there are two different phylogenetic lineages, *Micrurus altirostris* and *Micrurus silviae* have a similar size and shape when compared to *Micrurus corallinus* (Merrem, 1820) that derives from a distant phylogenetic branch. The sample consisted of 272 snakes from different scientific collections photographed in different views of the cephalic region. Geometric morphometric techniques were used to quantify shape and size. Thus, the present study analyzed the dorsal, ventral, and frontal views of the cephalic scales of the species of the genus *Micrurus*. Our results indicate that there is no significant difference between the individuals of *M. altirostris* that inhabit the Atlantic Forest and the Pampa in terms of the size of the cephalic scales, however there is a subtle difference in the shape of the cephalic scales between the individuals that inhabit the two biomes. When the three species were analyzed, it was observed that there is a significant difference in the size and shape of the cephalic scales of the different species of *Micrurus*, and these differences are related to the different phylogenetic lineages.

ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A dissertação foi organizada começando com uma introdução geral abordando o tema e a justificativa da pesquisa, em seguida os objetivos do presente trabalho, em sequência são apresentados dois artigos que seguem as normas de submissão das revistas escolhidas. Posteriormente apresenta-se uma conclusão e as referências utilizadas.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tab. 1. Percentual de reclassificação correta das escamas cefálicas da vista dorsal pelo método de Validação Cruzada.....	26
Tab. 2. Percentual de reclassificação correta das escamas cefálicas da vista dorsal pelo método de Validação Cruzada.	27

LISTA DE FIGURAS

INTRODUÇÃO GERAL

Figura 01: Relação filogenética de *Micrurus* retirado de Silva Jr. e Sites, 2001. Desenho esquemático de espécies com morfologia de Tríades e Mônadas por D.T. Feitosa, retirado de Abreu, 2014.15

CAPÍTULO 1

Fig. 1. Mapa das localidades dos indivíduos de *Micrurus altirostris* analisados que habitam o Rio Grande do Sul.....22

Fig. 2. Desenho esquemático com as medidas morfológicas de comprimento total (CT), comprimento rostro-cloacal (CRC) e comprimento da cauda (CC).....22

Fig. 3. Marcos anatômicos em escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris* (A); Marcos anatômicos em escamas da vista ventral de *M. altirostris* (B); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista dorsal e as linhas conectando as mesmas (C); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista ventral e as linhas conectando as mesmas (D).....23

Fig. 4. Boxplot da variação no tamanho corporal total entre machos e fêmeas (A); e Boxplot da variação no tamanho das escamas cefálicas na vista ventral de espécimes de *Micrurus altirostris* (B) que ocorrem na Mata Atlântica e Pampa. Letras diferentes sobre as caixas caracterizam diferença significativa.....25

Fig. 5. Boxplot da variação no tamanho do centroide das escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris* da Mata Atlântica e Pampa (A); e Boxplot da variação no tamanho do centroide das escamas cefálicas na vista ventral de espécimes de *Micrurus altirostris* (B). Letras diferentes sobre as caixas caracterizam diferença significativa.....26

Fig. 6. Variação na forma das escamas cefálicas de *Micrurus altirostris* na vista dorsal (A) e vista ventral (B). A linha contínua representa indivíduos que habitam a Mata Atlântica e a linha tracejada representa os indivíduos que habitam o Pampa.....26

CAPÍTULO 2

Figura 1 Mapa das localidades dos indivíduos de *Micrurus altirostris*, *M. silviae* e *M. corallinus* analisados.....37

Figura 2 Marcos anatômicos em escamas da vista dorsal de *Micrurus silviae* (A); Marcos anatômicos em escamas da vista ventral de *M. silviae* (B); Marcos anatômicos em

escamas da vista do frontal de *M. silviae* (C); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista dorsal e as linhas conectando as mesmas (D); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista ventral e as linhas conectando as mesmas (E); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista frontal e as linhas conectando as mesmas (F).....38

Figura 3 Letras diferentes nos boxplots caracterizam diferença significativa entre os indivíduos, letras iguais caracterizam diferença não significativa entre os indivíduos. Boxplot do tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*40

Figura 4 Análise de variáveis canônicas da forma das escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*40

Figura 5 Letras diferentes nos boxplots caracterizam diferença significativa entre os indivíduos, letras iguais caracterizam diferença não significativa entre os indivíduos. Boxplot do tamanho das escamas cefálicas da vista ventral de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*..... 41

Figura 6 Análise de variáveis canônicas da forma das escamas cefálicas da vista ventral de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae* 42

Figura 7 Letras diferentes nos boxplots caracterizam diferença significativa entre os indivíduos, letras iguais caracterizam diferença não significativa entre os indivíduos. Boxplot do tamanho das escamas cefálicas da vista frontal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*.42

Figura 8 Análise de variáveis canônicas da forma das escamas cefálicas da vista frontal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*43

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA	14
JUSTIFICATIVA E REFERENCIAL TEÓRICO	14
OBJETIVOS	17
OBJETIVO GERAL	17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
CAPÍTULO 1	18
CAPÍTULO 2	33
CONCLUSÃO GERAL	49

INTRODUÇÃO GERAL

TEMA E PROBLEMA DE PESQUISA

O presente estudo aborda a variação na morfologia de escamas cefálicas de três espécies de serpentes do gênero *Micrurus*, em relação aos aspectos ambientais (diferentes biomas de ocorrência) e em relação a história filogenética..

JUSTIFICATIVA E REFERENCIAL TEÓRICO

A origem dos Squamata ocorreu a cerca de 257 milhões de anos próxima a grande extinção em massa do Permiano/Triássico (SIMÕES, et al. 2018). Quanto a diversidade, formalmente descritas pela ciência são contabilizadas cerca de 3.709 espécies de serpentes (UETZ, 2018). Atualmente o Brasil conta com 795 espécies de répteis, sendo 405 serpentes (COSTA e BÉRNILS, 2018). As serpentes ocorrem em quase todo planeta, porém habitam principalmente regiões temperadas e tropicais, assim estão presentes em todos os ecossistemas brasileiros, devido a ectotermia necessitam de regiões mais quentes. (ANDRADE et al. 2002 e MARTINS e MOLINA 2008). Dentro das serpentes a família Elapidae contém dois gêneros (*Leptomicrurus* e *Micrurus*), sendo que o gênero *Micrurus* conta com 36 táxons entre espécies e subespécies (COSTA e BÉRNILS, 2018).

A família Elapidae contempla 365 espécies (UETZ, 2018), amplamente distribuídas pelas Américas, África, Ásia Meridional e Austrália, à essa família pertence o gênero *Naja*, as Najas da África e Sul da Ásia, Mamba-negra (*Dendroaspis polylepis*) da África e “Taipãs” (*Oxyuranus microlepidotus*) da Austrália (LEMA, 2002). Nas Américas ocorrem as Corais verdadeiras como representantes dessa família, elapídeos ocupam uma grande diversidade de ambientes (marinhos, áridos e subterrâneos). Assim a diversidade de ambientes que essas espécies estão presentes, caracteriza a família Elapidae como um grupo adaptado as múltiplas variações de habitats. Como características morfológicas podemos destacar que são portadoras de dentição Proteróglifa, ou seja, possuem um par de dentes maxilares fixos e maiores na parte anterior, inoculadores eficientes com sulcos de escoamento da peçonha, para injetar a toxina necessitam morder com firmeza a presa, e não apenas picar a mesma (LEMA, 2002; FREITAS e SILVA, 2006). Algumas modificações, podem ter reflexo na morfologia da cabeça e das escamas cefálicas, tornando essas estruturas importantes não só no aspecto alimentar, mas também relacionado às glândulas de peçonha. Sendo que as serpentes que compõem a família Elapidae, em geral, possuem as toxinas mais letais do planeta (TANAKA et al. 2010).

As espécies que compõem o gênero *Micrurus* são conhecidas como cobras-corais, esse nome tem relação com a coloração vermelha com anéis negros intercalados ou marginados de branco ou amarelo, coloração constante tanto dorsalmente como ventralmente (LEMA, 2002). Uma característica importante sobre as espécies do gênero *Micrurus* são as linhagens filogenéticas relacionadas com o padrão de tríades que dividem o gênero, sendo Monadal (um anel preto, entre dois anéis brancos, e estes entre os anéis vermelhos), e Triadal (três anéis pretos, separados por anéis brancos, e esses entre os anéis vermelhos) (LEMA, 2002; MELGAREJO, 2003; SLOWINSKI 1995). Na região sul do Brasil *Micrurus altirostris* (Cope, 1859) e *Micrurus silviae* Di-Bernardo, Borges-Martins e Silva, 2007 são as espécies representantes do grupo Tríadal (COSTA e BÉRNILS, 2018) e *Micrurus corallinus* (Merrem, 1820) que é amplamente distribuída pelo Brasil é representante do grupo Monadal.

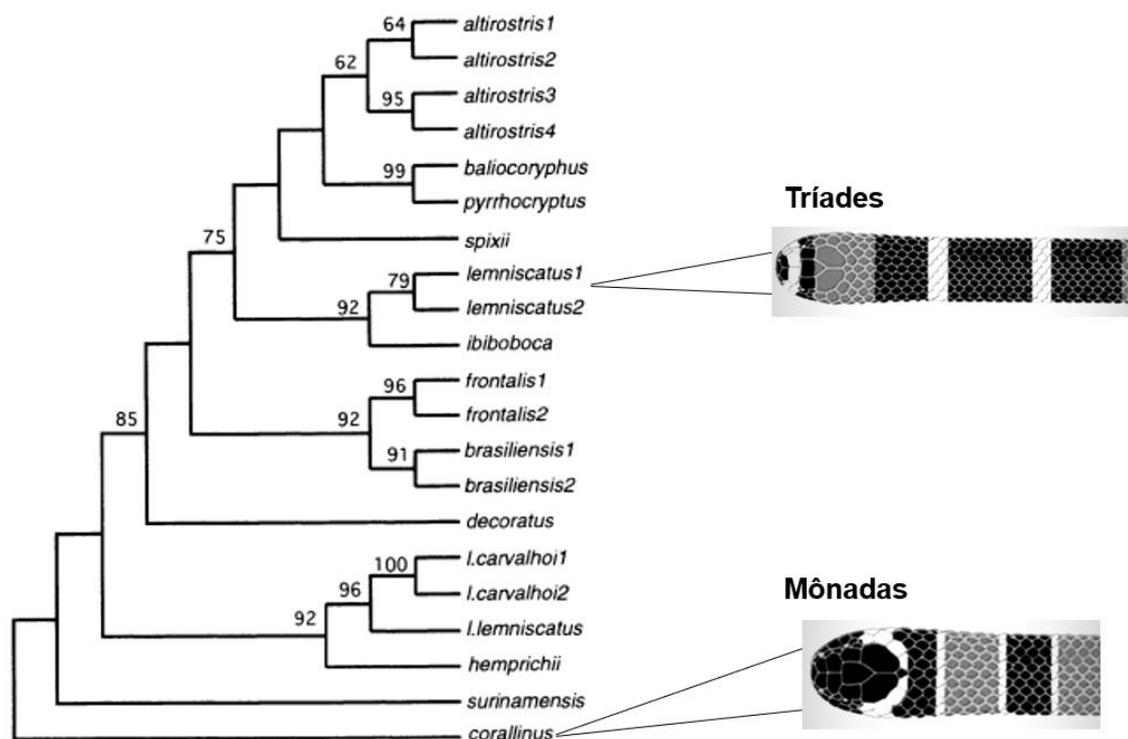


Figura 01: Relação filogenética de *Micrurus*, modificado de Silva Jr. e Sites, 2001. Desenho esquemático de espécies com morfologia de Tríades e Mônadas por D.T. Feitosa, modificado de Abreu, 2014.

As características adaptativas dos répteis dão origem a diversos estudos de morfometria geométrica com diferentes grupos de serpentes. Edwards, et al. (2016) estudaram os a coevolução da força de mordida com a morfologia da cabeça em lagartos de deserto do gênero *Meroles*. Amorim, et al. (2017) relataram diferenças na morfologia

e dieta de *Gymnodactylus amarali* em ilhas recém-criadas por barramento. Meik et al. (2012) examinaram dimorfismo sexual do tamanho corporal e morfologia da cabeça, assim como diferenças sexuais na dieta de *Crotalus polystictus*. Reis et al. (2015) verificaram a existência de diferenças na forma e tamanho das placas cefálicas dorsais de *Micrurus altirostris* e *Micrurus frontalis*, essa diferença foi evidenciada nos marcos anatômicos localizados nas escamas frontais e nas escamas parietais.

A funcionalidade de uma estrutura morfológica está relacionada com o comportamento e operação que a mesma desempenha, em diferentes cenários essa mesma estrutura pode acarretar papéis ecológicos diferenciados, como resultado da influência das relações ecológicas (KIRCHHDIM e GOULART, 2010). Dessa forma, os efeitos dos filtros ambientais proporcionam, dentro da estruturação de uma assembleia, uma maior similaridade ou dissimilaridade (filogeneticamente ou funcionalmente) do que o esperado ao acaso, entre as espécies que são coocorrentes (SOBRAL e CIANCIARUSO, 2012). Espécies de uma mesma linhagem, ao enfrentar condições ambientais diferentes, podem desenvolver características específicas diferentes entre grupos, como resultado de adaptação a condições ambientais específicas de cada região que é caracterizada por habitats distintos (MANGIACOTTI et al. 2014). Dentre as características morfológicas analisadas na história evolutiva de serpentes, podemos destacar diversas características das mais confiáveis até menos ou pouco confiáveis, para diferentes estudos que envolvem sistemática utilizam comumente características como padrão de coloração e número de escamas, porém essas não são características completamente confiáveis (RUANE 2015), sendo essas características que variam muito dentro dos próprios indivíduos de uma espécie. Em um cenário adaptativo as serpentes, em um contexto geral, são organismos que despertam interesse por sua morfologia assim como a grande diversificação ecológica (LILLYWHITE 1987).

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Identificar as diferenças na forma e tamanho das escamas cefálicas de três espécies do gênero *Micrurus* (*Micrurus altirostris*, *Micrurus silviae* e *Micrurus corallinus*), e identificar se as pressões seletivas do habitat estão relacionadas as variações na morfologia.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I: Testar as diferenças na forma e tamanho da configuração das escamas cefálicas dorsais e ventrais de *Micrurus altirostris* que habitam o bioma Mata Atlântica e Pampa no sul do Brasil;

II: Testar as diferenças morfológicas nas configurações de escamas cefálicas dorsais, ventrais e frontais de três espécies de serpentes do gênero *Micrurus* (*Micrurus altirostris*, *Micrurus silviae* e *Micrurus corallinus*), com ocorrência no sul do Brasil, em relação as linhagens filogenéticas Monadal e Triadal.

Capítulo 1

Costa, R.M.; Bernardo-Silva, J.; Fornel, R.

As escamas cefálicas de *Micrurus altirostris* (Cope, 1859)

diferem entre Mata Atlântica e Pampa?

Artigo formatado segundo as normas do periódico

Iheringia. Série Zoologia

As escamas cefálicas de *Micrurus altirostris* (Cope, 1859) diferem entre Mata Atlântica e Pampa?

Rafaela Martinelli da Costa^{1*}, Jorge Bernado-Silva² e Rodrigo Fornel¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Erechim, Caixa Postal 743 – CEP 99709-910 Erechim – Rio Grande do Sul - E-mail: *rafaela__th@hotmail.com

² Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências - CEP: 91501- 970. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. E-mail: bernardo.silva@ufrgs.br

Resumo

As características ecológicas e morfológicas das serpentes são interessantes para entender os processos adaptativos que envolvem a ecomorfologia. Neste estudo, analisamos as diferenças morfológicas entre indivíduos da serpente *Micrurus altirostris* que habitam a Mata Atlântica e o Pampa. Estes dois biomas apresentam características de habitat distintos. Nossas análises foram realizadas através de medidas morfométricas de tamanho corporal e morfometria geométrica para avaliar o tamanho e a forma das escamas cefálicas dorsais e ventrais dos indivíduos, e relaciona-las aos bioma. Foi observado dimorfismo sexual; os machos possuem um tamanho corporal superior às fêmeas, assim como o tamanho das escamas cefálicas dorsais. Não existe diferença significativa no tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal e ventral, contudo existe diferença significativa na forma das escamas cefálicas da vista dorsal e ventral. Com esta pequena diferença de forma é possível levantar a hipótese de morfologia conservada, com pouca distinção entre biomas e não excludente a ideia de fluxo gênico homogeneizando as populações provenientes dos diferentes biomas.

Palavra-chave: Diferença morfológica. Ecomorfologia, Morfometria Geométrica. Serpente.

Abstract

The ecological and morphological characteristics of snakes have always been interesting to understand the adaptive processes that involve ecomorphology. In this study, we analyzed how morphological differences between individuals of the snake *Micrurus altirostris* that inhabit the Atlantic Forest and the Pampa. These two biomes have distinct habitat characteristics. Our analyzes were carried out through body size and geometric morphometric measurements to assess the size and shape of the dorsal and ventral cephalic scales of the individuals, and to relate the biotic and abiotic factors of each biome. Sexual dimorphism was observed; males are larger than body, as well as the size of dorsal cephalic scales. There is no significant difference in the size of the cephalic scales from the dorsal and ventral view, but there is a significant difference in the shape of the cephalic scales from the dorsal and ventral views. With this small difference in shape, it is possible to raise the hypothesis of conserved morphology, with little distinction between biomes and not excluding the idea of gene flow homogenizing populations from different biomes.

Keyword: Morphological difference. Ecomorphology. Geometric Morphometrics. Snake.

Introdução

Há um interesse antigo a respeito dos fatores que influenciam as relações ecológicas, como a forma com que os indivíduos de uma população utilizam os recursos disponíveis. Assim, a partir da morfologia desses organismos, os processos adaptativos relacionados a essas interações são investigados pela ecomorfologia (SAMPAIO & GOULART, 2011). As abordagens utilizadas na ecomorfologia, nos diferentes processos ecológicos, podem auxiliar a ampliar as discussões científicas sobre as adaptações morfológicas relacionadas a questões ecológicas (KIRCHHDIM & GOULART, 2010). Para tornar mais claras as relações de utilização de recursos pelas espécies, os estudos voltados para a ecomorfologia frequentemente abordam um maior número de fatores, que possam ter alguma influência, como aspectos fisiológicos e comportamentais relacionados ao meio em que as espécies vivem, assim como competição e predação entre as espécies (SAMPAIO & GOULART, 2011). A variedade morfológica dos anfíbios e répteis torna esses grupos modelos interessantes dentre os estudos ecomorfológicos, sendo que em muitos casos são considerados casos paradigmáticos (KALIONTZOPOULOU, 2011).

Existe uma significativa influência ecológica relacionada às diferenças na forma dos crânios de diversos grupos ecológicos (SILVA et al., 2018). Assim em um cenário adaptativo as serpentes se caracterizam como interessantes, não apenas por sua morfologia, mas também por grande diversificação ecológica (LILLYWHITE, 1987). Serpentes são caracterizadas por apresentar grande elasticidade nos movimentos cranianos principalmente nas articulações das mandíbulas unidas por ligamentos elásticos e pelo crânio com os ossos móveis, o quadrado e supratemporal (ANDRADE et al., 2002). Algumas espécies de répteis, que possuem hábito fossorial, se destacam pela convergência craniana e forma significativamente diferente em relação a outros grupos ecológicos, sendo esse um forte indício que os parâmetros de forma podem ser usados com confiança para estimar sinal filogenético (SILVA et al., 2018). Dentre os grupos ecológicos, seu hábito de vida pode ser descrito como fossorial, criptozoico e terrícola, podemos destacar as serpentes do gênero *Micrurus*, que estão amplamente distribuídas pelas Américas.

As espécies que compõe o gênero *Micrurus* são conhecidas como Cobras-corais, apresentam coloração vermelha com anéis negros intercalados ou marginados de branco ou amarelo, coloração constante tanto dorsalmente como ventralmente (LEMA, 2002). São serpentes de hábito fossorial com cabeça em formato oval e grandes placas simétricas, e os olhos são pequenos com pupila elíptica vertical. Sendo que o pescoço não

pronunciado está relacionado devido ao desenvolvimento da musculatura cervical adaptado para a escavação com fortes ossos cranianos (MELGAREJO, 2003), e são portadoras de dentição proteróglifa (LEMA, 2002; FREITAS & SILVA, 2006). Essas modificações, podem ter reflexo na morfologia da cabeça e das escamas cefálicas, tornando essas estruturas importantes não só no aspecto alimentar, mas também relacionado às glândulas de peçonha.

Micrurus altirostris (coral verdadeira) habita tanto o bioma Mata Atlântica quanto o bioma Pampa no extremo sul do Brasil. O conjunto de características anatômicas e ecológicas supracitadas pode variar de acordo com o habitat da mesma, pois diferentes habitats exercem pressões diferentes perante as populações. Assim, os organismos que habitam o bioma Mata Atlântica estão sujeitos a características de clima, vegetação e solo completamente diferentes aos indivíduos que habitam do bioma Pampa. Devido os hábitos fossoriais relacionados as adaptações, como o fortalecimento da musculatura e osteologia craniana, além da dieta voltada para animais “longos e finos”, as espécies do gênero *Micrurus* apresentam uma limitação da cinética craniana (MELGAREJO, 2003). O presente estudo visa identificar as variações na morfologia de *Micrurus altirostris* através da seguinte hipótese: Há diferenças morfológicas entre os espécimes de *M. altirostris* que ocupam o Sul da Mata Atlântica e os espécimes que ocupam o Pampa devido as diferentes características ambientais.

Material e Métodos

Coleta de dados

O presente estudo analisou um total de 199 exemplares de *Micrurus altirostris* adultos segundo a literatura (RODRIGUES et al., 2018), depositados nas seguintes coleções científicas: Museu Regional do Alto Uruguai da URI – Campus de Erechim (MuRAU), Museu Zoobotânico Augusto Ruschi - UPF (Muzar) e Museu de Ciências Naturais - FZB/RS(MCN). Sendo que 94 exemplares correspondem ao sul da Mata Atlântica e 105 ao Pampa (Fig. 1). Para as análises morfológicas prévias de dimorfismo sexual as seguintes informações foram aferidas (mm): comprimento total (CT), comprimento rostro-cloacal (CRC) e comprimento da cauda (CC) (Fig. 2). Informações referentes ao sexo foram aferidas quando possível para análises de dimorfismo sexual. Para as análises de morfometria geométrica foram realizadas fotografias da região cefálica sendo as vistas dorsal e ventral com auxílio de uma câmera fotográfica digital de

8 megapixels, com a função macro e sem o uso de flash. Para padronizar as fotografias foi utilizado um suporte para câmera a uma distância focal de 15 cm (REIS, et al 2015).

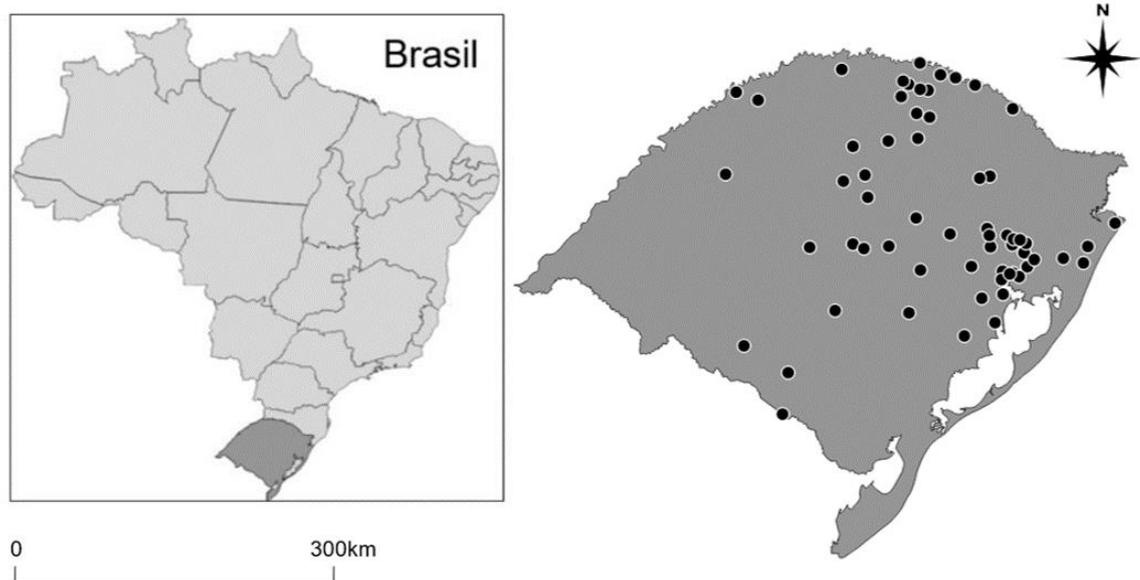


Fig. 1. Mapa das localidades dos indivíduos de *Micrurus altirostris* analisados que habitam o Rio Grande do Sul.

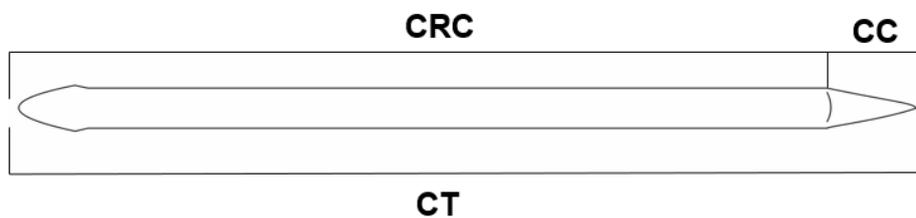


Fig. 2. Desenho esquemático com as medidas morfológicas de comprimento total (CT), comprimento rostro-cloacal (CRC) e comprimento da cauda (CC). Arte: autores.

Análise de dados

As fotografias digitais foram organizadas em listas com o programa TPSUtil (ROHLF, 2004). Nas fotos foram digitalizados marcos anatômicos, sendo 27 para a vista dorsal e 17 para a vista ventral (Fig. 3) através do software TPSDig2 versão 2.10 (ROHLF, 2010). Posteriormente a análise de sobreposição generalizada de Procrustes (GPA) foi realizada para gerar os resíduos de forma e remover os efeitos de posição, orientação e tamanho (DRYDEN & MARDIA 1998). Os resíduos de forma foram simetrizados quanto o lado esquerdo e direito e apenas o componente simétrico da forma foi analisado. Foram realizadas análises prévias para avaliar se ocorre dimorfismo sexual para cada uma das vistas. Apesar do dimorfismo sexual confirmado, a interação entre os

fatores não foi significativa, assim as análises seguintes foram realizadas com machos e fêmeas agrupados. Não foram realizadas análises prévias para avaliar a influência da ontogenia pois a amostra foi representada por espécimes adultos. Para identificar se ocorre diferença intraespecífica entre populações de *M. altirostris* da Mata Atlântica e Pampa, o tamanho do centroide log transformado das escamas dorsais e ventrais foi analisado através de um test t. Para a forma das escamas cefálicas foi realizada uma análise de componentes principais (PCA), para avaliar se ocorre estruturação na forma das escamas dorsais e ventrais. Para testar a diferença de forma entre as populações da Mata Atlântica e do Pampa foi utilizada uma análise de variância multivariada (MANOVA) e posteriormente e uma análise de variáveis canônicas (CVA).

As análises estatísticas foram realizadas a linguagem “R” versão 2.12.0 para Windows (R Development Core Team, 2011), com as seguintes bibliotecas: MASS (VENABLES e RIPLEY 2002), ade4 (DRAY & DUFOUR 2007), ape versão 1.8-2 (PARADIS et al. 2004), vegan (OKSANEN et al., 2011), STATS (R Development Core Team, 2009) e o geomorf (ADAMS et al., 2017).

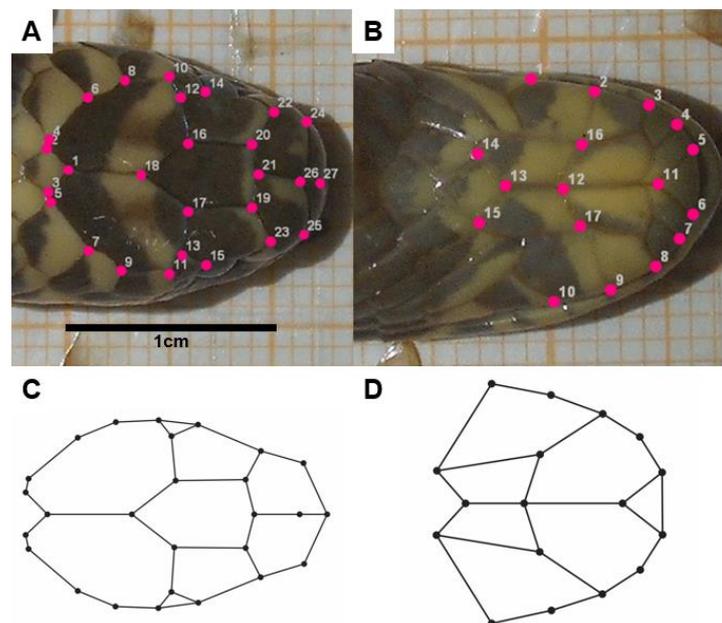


Fig. 3. Marcos anatômicos em escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris* (A); Marcos anatômicos em escamas da vista ventral de *M. altirostris* (B); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista dorsal e as linhas conectando as mesmas (C); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista ventral e as linhas conectando as mesmas (D).

Descrição dos marcos anatômicos das escamas cefálicas da vista dorsal: Ponto 1 intersecção da união das escamas parietais com as a escamas dorsal; 2, 4, 6 e 8 intersecção da escama parietal esquerda com as escamas dorsais; 3, 5, 7 e 9 intersecção da escama parietal direita com as escamas dorsais; 10, 12 e 14 intersecção da escama supraocular com a escama postocular esquerda; 11, 13 e 15 intersecção da escama supraocular com a escama postocular direita; 16 e 20 intersecção da escama frontal com a escama supraocular esquerda, 17 e 19 intersecção da escama frontal com a escama supraocular direita; 18 intersecção da escama frontal com a união das escamas parietal; 21 intersecção da escama frontal com a união das escamas prefrontais; 22 intersecção da escama prefrontal com a escama supraocular esquerda; 23 intersecção da escama prefrontal com a escama supraocular direita; 24 intersecção da escama prefrontal com a escama internasal esquerda; 25 intersecção da escama prefrontal com a escama internasal direita; 26 intersecção da união das escamas prefrontais com a união das escamas internasais; 27 intersecção da escama internasal com a escama rostral.

Marcos anatômicos das escamas cefálicas da vista ventral: 1, 2, 3 e 4 porção superior das escamas infralabiais esquerda; 7, 8, 9 e 10 4 porção superior das escamas infralabiais direita; 5 intersecção da escama infralabial esquerda com a escama mental; 6 intersecção da escama infralabial direita com a escama mental; 11 intersecção da união das escama infralabiais com a escama mental; 12 união das escamas submentais na porção interior; 13 intersecção da união das escamas submentais com a escama gular; 14 intersecção da escama submental esquerda com a escama gular; 15 intersecção da escama submental direita com a escama gular; 16 intersecção da escama submental esquerda com porção inferior da escama infralabial; 17 intersecção da escama submental direita com porção inferior da escama infralabial

Resultados

Para definir se existe interferência do dimorfismo sexual dos indivíduos de *M. altirostris* nas análises posteriores, o mesmo foi testado em análises prévias de tamanho corporal, tamanho e forma das escamas cefálicas da vista dorsal e ventral. Foi registrado diferença significativa no tamanho corporal entre machos e fêmeas ($t = -2,9422$, $df = 54,272$, $p = 0,004785$), aonde os machos possuem tamanho maior que as fêmeas (Fig. 4(A)). Também foi registrado com o test t diferença significativa para o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal ($t = -3.6714$; $df = 57.716$; $p = 0,0005287$), aonde os machos novamente possuem um tamanho em média superior as fêmeas (Fig. 4(B)). Não

foi registrado diferença significativa no tamanho das escamas cefálicas da vista ventral ($t = -1,49$; $df = 57.921$; $p = 0,1416$), entre machos e fêmeas de *M. altirostris*. Também não foi registrado diferença significativa para a forma das escamas cefálicas da vista dorsal (Wilks' $\lambda = 0,49429$; $F = 1.3914$; $p = 0,1831$), assim como não ocorreu diferença significativa na forma das escamas cefálicas da vista ventral (Wilks' $\lambda = 0,72239$; $F = 1,1272$; $p = 0,3621$), para machos e fêmeas de *M. altirostris*. Dessa maneira, as análises seguintes foram realizadas com machos e fêmeas de *M. altirostris* agrupados.

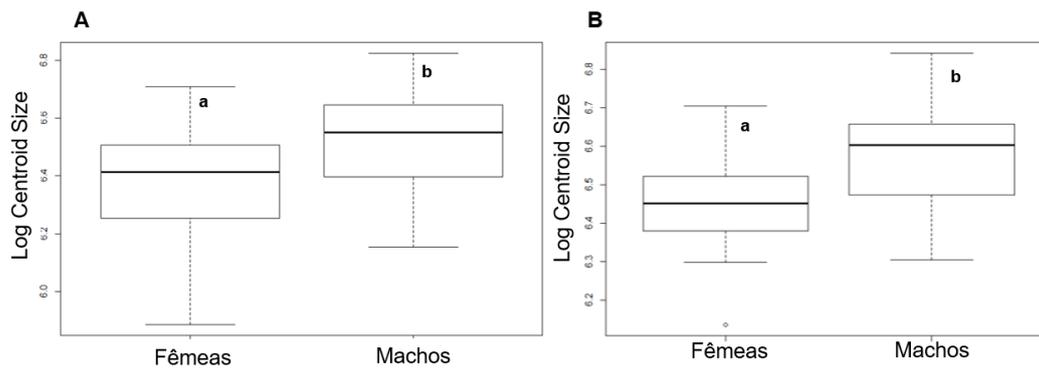


Fig. 4. Boxplot da variação no tamanho corporal total entre machos e fêmeas (A); e Boxplot da variação no tamanho das escamas cefálicas na vista dorsal de espécimes de *Micrurus altirostris* (B) que ocorrem na Mata Atlântica e Pampa. Letras diferentes sobre as caixas caracterizam diferença significativa.

A análise de componentes principais não sugeriu nenhuma estruturação entre os indivíduos de *M. altirostris* que ocorrem na Mata Atlântica e Pampa, portanto, esses gráficos não são mostrados. Ao analisar as escamas cefálicas de *M. altirostris*, observou-se que não há diferença significativa ($t = -0,96062$; $df = 181.28$; $p = 0,338$), em relação ao tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal entre os indivíduos que habitam os biomas Mata Atlântica e Pampa (Fig. 5(A)). Apesar de não existir diferença do tamanho das escamas, os resultados da MANOVA indicam que existe diferença significativa na forma das escamas cefálicas da vista dorsal (Wilks' $\lambda = 0.75605$; $F = 2.2329$; $p = 0,001394$), entre os indivíduos que habitam os biomas Mata Atlântica e Pampa (Fig. 6(A)). Contudo ao observar as medias das escamas cefálicas da vista dorsal dos indivíduos da Mata Atlântica e Pampa, e o percentual de reclassificação correta das pelo método da validação cruzada, nota-se que a diferença entre eles é muito sutil (Tab. 1).

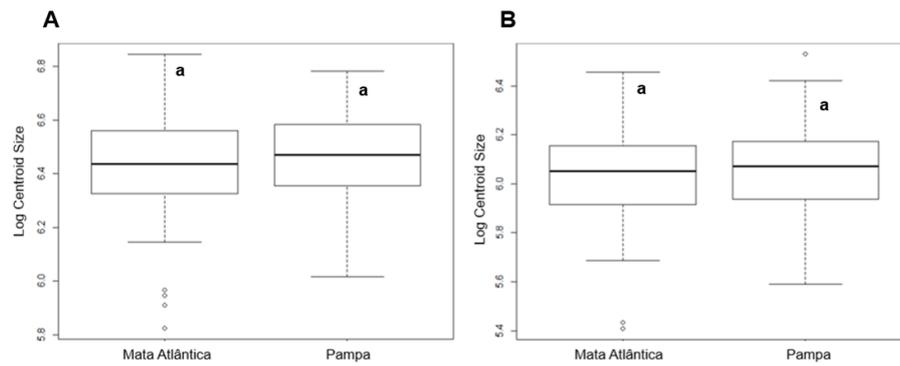


Fig. 5. Boxplot da variação no tamanho do centroide das escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris* da Mata Atlântica e Pampa (A); e Boxplot da variação no tamanho do centroide das escamas cefálicas na vista ventral de espécimes de *Micrurus altirostris* (B). Letras diferentes sobre as caixas caracterizam diferença significativa.

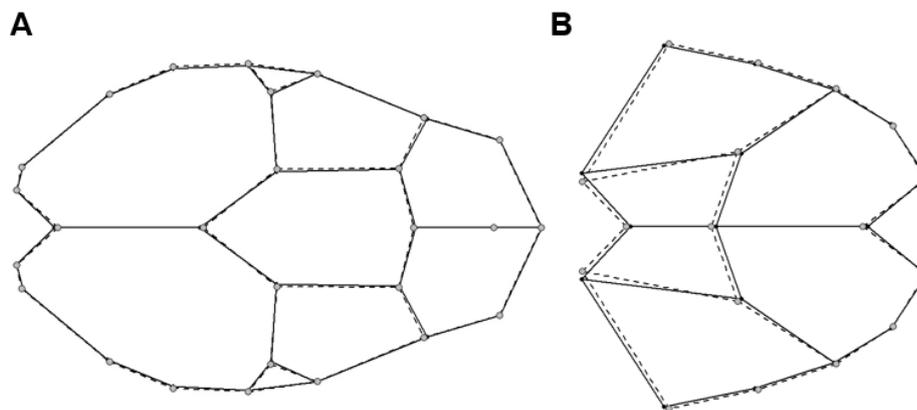


Fig. 6. Variação na forma das escamas cefálicas de *Micrurus altirostris* na vista dorsal (A) e vista ventral (B). A linha contínua representa indivíduos que habitam a Mata Atlântica e a linha tracejada representa os indivíduos que habitam o Pampa.

Tab. 1. Percentual de reclassificação correta das escamas cefálicas da vista dorsal pelo método de Validação Cruzada.

	Mata Atlântica	Pampa
Mata Atlântica	68,085	31,915
Pampa	29,524	70,476

O mesmo padrão pode ser observado quando analisamos o tamanho das escamas cefálicas da vista ventral de *M. altirostris*, aonde não existe diferença significativa ($t = -0,35037$; $df = 171.68$; $p = 0,7265$), entre os indivíduos que habitam os biomas Mata

Atlântica e Pampa (Fig. 5(B)). Embora os resultados para tamanho não apresentem valores significativos, os resultados da MANOVA para a forma das escamas cefálicas da vista ventral, indicam que existe diferença significativa (Wilks' $\lambda = 0,70602$; $F = 4,4693$; $p = 0,0000005$), entre os indivíduos que habitam os biomas Mata Atlântica e Pampa (Fig. 6(B)). Novamente a diferença da forma das escamas cefálicas da vista ventral é muito sutil quando observado as médias entre os indivíduos da Mata Atlântica e Pampa, e o percentual de reclassificação correta das pelo método da validação cruzada (Tab. 2).

Tab. 2. Percentual de reclassificação correta das escamas cefálicas da vista dorsal pelo método de Validação Cruzada.

	Mata Atlântica	Pampa
Mata Atlântica	75,000	25,000
Pampa	24,731	75,269

Discussão

Após as análises realizadas no presente trabalho, foi observado que apenas um dos aspectos abordados na hipótese inicial, referente a existência de diferenças morfológicas entre os espécimes de *M. altirostris* que ocupam a Mata Atlântica e os espécimes que ocupam o Pampa, obteve diferença significativa. Não foi identificada diferença significativa no tamanho das escamas cefálicas de *Micrurus altirostris*. Contudo, foi observado uma diferença significativa na forma das escamas cefálicas da vista dorsal e ventral dos indivíduos de *M. altirostris* que habitam os diferentes biomas. Porém, ao analisar a média da forma das escamas cefálicas da vista dorsal, observa-se que a diferença encontrada é muito sutil. Foi observada diferença na região posterior da cabeça, mas a região do rosto não apresentou diferença. Esse mesmo padrão pode ser observado para a forma das escamas cefálicas da vista ventral (Fig. 6).

Foi verificado diferença significativa para o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal apenas quando analisado dimorfismo sexual, aonde os machos apresentaram um tamanho significativamente maior que as fêmeas, assim como o tamanho corporal que foi significativamente maior nos machos quando comparado as fêmeas. O dimorfismo sexual encontrado trata-se de uma característica conservada relacionada ao sinal filogenético (SILVA JR e SITES JR, 2001), assim não possui relação com as variáveis ambientais analisadas no presente estudo. Dessa forma, nossos dados estão de acordo com os resultados encontrados por MARQUES e colaboradores (2013), que demonstraram que os

machos, de *M. altirostris*, possuem um tamanho corporal, em média, superior ao das fêmeas. De uma forma geral, o dimorfismo sexual em serpentes ocorre como uma forma de estratégia intraespecífica, o tamanho diferente da cabeça entre os sexos está relacionado a dieta diferenciada entre os mesmos, evitando assim a competição intraespecífica entre os sexos (LUISELLI et al., 2002). Geralmente as fêmeas possuem um tamanho corporal e massa superior aos machos, pois essas características estão relacionadas à capacidade reprodutiva das mesmas. Assim, quanto maior a fêmea maior a taxa de fecundidade e tamanho da ninhada (SHINE, 1994). Outros fatores também já foram estudados para justificar o tamanho da cabeça dos machos ser inferior ao tamanho da cabeça das fêmeas. Em princípio, esta característica estaria relacionada a produção da testosterona pelos machos que inibe o crescimento da cabeça (SHINE & CREWS 1988).

O tamanho corporal dos machos pode estar relacionado ao comportamento de acasalamento dessa espécie. Isso pois, os machos atingem a maturidade sexual precocemente quando comparado as fêmeas, também são reprodutivamente ativos ao longo de todo o ano (RODRIGUES et al., 2018). A maturidade sexual precoce vinculada a atividade reprodutiva durante todo o ano auxilia no sucesso reprodutivo dos machos. Pois, a taxa de fecundidade das fêmeas está relacionada ao tamanho corporal das mesmas (SHINE, 1994). Assim, o custo energético direcionado a reprodução se torna eficiente com o amadurecimento reprodutivo tardio das fêmeas quando comparados aos machos (RODRIGUES et al. 2018). Os registros de combate entre machos em época de acasalamento registrados no estudo de RODRIGUES e colaboradores , (2018), contribuem para entender o tamanho corporal superior ao das fêmeas. O maior porte corporal dos machos auxilia no sucesso reprodutivo, ao levar em consideração que as fêmeas permanecem longe de possíveis predadores, enquanto os machos patrulham em busca das mesmas.

Assim, nossos resultados indicam que existe diferença na forma das escamas cefálicas dorsais e ventrais, entre os indivíduos que habitam os biomas. Porém, ao observar as médias das escamas cefálicas da vista dorsal e ventral, é possível perceber que as diferenças são muito sutis (Fig. 6). Essa diferença pode não estar relacionada às pressões seletivas presentes em cada bioma. Pois, sem a interferência do dimorfismo sexual confirmado pelas análises prévias, assim como a ausência da influência ontogenética. Isso porque, no presente trabalho foram utilizados apenas indivíduos juvenis e adultos, e a diferença sutil na forma das escamas observada nos resultados, concluiu-se que *M. altirostris* pode possuir características de uma espécie generalista. A

capacidade de dispersão dessa espécie ainda é desconhecida, mas ao considerar a semelhança de tamanho e forma nos indivíduos que habitam a Mata Atlântica e o Pampa, deduziu-se que o fluxo gênico entre os espécimes deva ser elevado, e que os fatores bióticos e abióticos dos biomas não agem como barreiras reprodutivas para os indivíduos dessa espécie.

A espécie *M. altirostris* possui uma morfologia conservada que pode ter relação com sua sobrevivência em ambos os biomas. Com porte médio, cabeça não pronunciada, e a ausência de fosseta loreal, que é uma característica importante referente a sua estratégia de alimentação, além da sua peçonha letal herdada da família Elapidae (TANAKA et al. 2010). Mesmo com todas as características de predador em potencial, *M. altirostris* é uma serpente fossorial que antigamente acreditava-se que se alimentava basicamente de Gymnophionas e lagartos (SILVA & AIRD, 2001), além de pequenas serpentes dos gêneros *Oxyrhopus*, *Erythrolamprus* e *Dipsas* (SERAPICOS & MERUSSE, 2002). Porém, hoje sabe-se que sua dieta é ampla e não constituída apenas por outros organismos fossoriais e semi-fossoriais, tais como anfisbenas, ovos de outros répteis e serpentes de diversos gêneros (*Tomodon*, *Atractus* e *Bothrops*) (RODRIGUES et al., 2018).

Essa grande diversidade de presas, pode estar relacionada com o seu sucesso em ambos os habitats, pois os itens alimentares supracitados podem ser encontrados com facilidade em ambos os biomas. Como uma espécie fossorial, essa serpente pode ser encontrada na superfície da serapilheira em momento de forrageio em busca de alimento ou para o acasalamento. Como uma espécie ovípara, *M. altirostris* costuma utilizar formigueiros e troncos caídos para oviposição (ANDRADE et al., 2002; FREITAS & SILVA, 2006; MELGAREJO, 2003), novamente características ambientais presentes em ambos os biomas. Portanto, é possível que a baixa variação morfológica e pouca diferenciação entre populações da Mata Atlântica e Pampa seja resultado da manutenção do fluxo gênico e de seleção estabilizadora com pressões similares e generalistas em ambos os biomas do sul do Brasil.

Conclusão

O presente estudo avaliou as diferenças morfológicas dos indivíduos da espécie *Micrurus altirostris* que habitam dos biomas Mata Atlântica e Pampa, ao analisar o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal e ventral, não se observou diferença significativa. Ao analisar a forma das escamas cefálicas, da vista dorsal e ventral, ambas

apresentaram diferença significativa muito sutil. Dimorfismo sexual também foi registrado para a espécie quando analisado o tamanho corporal e o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal. Para a espécie *M. altirostris*, observa-se que os machos possuem em média um tamanho corporal maior assim como o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal. *M. altirostris* apresenta características e hábitos diversos que lhe permitem o sucesso reprodutivo nos biomas Mata Atlântica e Pampa. Dessa forma as pressões seletivas dos fatores bióticos e abióticos não se caracterizam como barreira para o fluxo gênico dos indivíduos entre os biomas, ou simplesmente os grupos apresentam características conservadas em sua morfologia.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais aos profissionais que nos auxiliaram nos museus Museu Regional do Alto Uruguai da URI – Campus de Erechim (MuRAU), Museu Zoobotânico Augusto Ruschi - UPF (Muzar) e Museu de Ciências Naturais - FZB/RS(MCN). Ao PPG de Ecologia da URI Campus Erechim-RS com o auxílio da bolsa PROSUC-CAPES, e ao grupo de pesquisa em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Referências

- ADAMS, DC; COLLYER, ML; KALIONTZOPOULOU, A & SHERRATT, R. **Geomorph**: Software for geometric morphometric analyses. R package version 3.0.5. 2017.
- ANDRADE, A, PINTO, SC & OLIVEIRA, RS 2002. **Animais de Laboratório: criação e experimentação [online]**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ.
- DRAY, S & DUFOUR, SB 2007. **The ade4 package**: Implementing the duality diagram for ecologists. J Stat Softw 22 (1):20.
- DRYDEN, IL & MARDIA, KV 1998. **Statistical shape analysis**. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
- FREITAS, MA & SILVA, TFS 2006. **Guia ilustrado: animais venenosos e peçonhentos no Brasil**. Editora União Sul-Americana de Estudos da Biodiversidade, Porto Alegre.
- KALIONTZOPOULOU, A 2011. Geometric morphometrics in herpetology: modern tools for enhancing the study of morphological variation in amphibians and reptiles. **Basic and Applied Herpetology**. 25: 5-32.

- KIRCHHDIM, PD & GOULART, R 2010. Ecomorfologia de predação e antipredação em Siluriformes (Osteichthyes) **Oecologia Australis**. 14 (2): 550-568.
- LEMA, T 2002. **Os répteis do Rio Grande do Sul. Atuais e fósseis – biogeografia – ofidismo**. EDIPUCRS, Porto Alegre.
- LILLYWHITE, HB 1987. Circulatory adaptations of snakes to gravity. **American Zoologist**. 27:81-95.
- LUISELLI, L; ANGELICI, FM & AKANI, GC 2002. Comparative feeding strategies and dietary plasticity of the sympatric cobras *Naja melanoleuca* and *Naja nigricollis* in three diverging Afrotropical habitats. **Canadian Journal of Zoology**. 80:55-63.
- MELGAREJO, AR 2003. Epidemiologia dos acidentes por animais peçonhentos. In: CARDOSO, JLC; FRANÇA, FOS; WEN, FH; MALAQUE, CMS & HADDAD JUNIOR, V; Eds). Animais peçonhentos no Brasil: biologia, clínica e terapêutica dos acidentes. Sarvier, São Paulo, SP. 33-62.
- OKSANEN, J; BLANCHET, FG; KINDT, R; LEGENDRE, P; O'HARA, BR; SIMPSON, GL; SOLYMOS, P; STEVENS, M.H.H & WAGNER, H 2011. Vegan: Community Ecology Package. R package version 1:17-6.
- PARADIS, ESK; CLAUDE, JJG; OPEN-RHEIN, R; DULTHEIL, J & BOLKER, NB 2004. **APE**: Analyses of Phylogenetics and Evolution in R. *Bioinformatics* 20:289-290.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM 2009. **Stats – R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Development Core Team,
- REIS, RF; IAGER, CT; OLIVEIRA, M; MARINHO, JR & FORNEL, R 2015. Comparação Entre Placas Cefálicas De *Micrurus Altirostris* Cope, 1860 e *Micrurus Frontalis* Duméril, Bibron & Duméril, 1854 (Serpentes, Elapidae) Por Meio De Técnicas De Morfometria Geométrica. **PERSPECTIVA**. 39, Edição Especial, :33-42.
- RODRIGUES, ME; ARZAMENDIA, V; BELLINI, GP & GIRAUDO, AR 2018. Natural history of the threatened coral snake *Micrurus altirostris* (Serpentes: Elapidae) in Argentina. **Revista Mexicana de Biodiversidad**. 89:1255 – 1262.
- ROHLF, FJ 2010. **TPSDig2**, ver. 2.16, software by F. James Rohlf Dept. Ecology and Evolution, State University of New York Stony Brook. Disponível em: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.
- ROHLF, FJ 2004. **TpsUtil**, ver. 1.26 software; **TpsDig**, ver. 1.40 software and **TpsREGR**, ver. 1.29. Available from the author, Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.

- SAMPAIO, ALA & GOULART, E 2011. Ciclídeos neotropicais: Ecomorfologia trófica **Oecologia Australis**. 15(4): 775-798. ´
- SERAPICOS, EO. & MERUSSE, JLB. 2002. Análise comparativa entre tipos de alimentação de *Micrurus corallinus* (Serpentes, Elapidae) em cativeiro. **Iheringia, Sér. Zool**.
- SILVA JR, NJ & SITES JR, JW 2001. Phylogeny of South American triad coral snakes (Elapidae: *Micrurus*) based on molecular characters. **Herpetologica**. 57(1):1-22
- SILVA JR, NJ & AIRD, SD 2001. Prey specificity, comparative lethality and compositional differences of coral snake venoms. **Comparative Biochemistry and Physiology**.
- SHINE, R. Sexual size dimorphism in snakes revisited. **Copeia**. v. 1994, N. 02, p: 326-346. 1994
- SHINE, R & CREWS, D 2018. Why male garter snakes have small heads: the evolution and endocrine control of sexual dimorphism. **Evolution**. v. 42, n.5. p: 1105–1110. 1988.
- TANAKA, GD. FURTADO, MFD. PORTARO, FCV. SANT'ANNA, OA. TAMBOURGI, DV. 2010. Diversity of *Micrurus* Snake Species Related to Their Venom Toxic Effects and the Prospective of Antivenom Neutralization **PLoS Neglected Tropical Diseases**.
- VENABLES, WN & RIPLEY, BD 2002. **MASS**: Modern Applied Statistics with S. 4th edition. Springer, New York, 495

Capítulo 2

Costa, R.M.; Bernardo-Silva, J.; Fornel, R.

**Diferenças morfológicas das escamas cefálicas entre duas
linhagens filogenéticas de *Micrurus* (Serpente: Elapidae)**

Artigo formatado segundo as normas do periódico

Journal of Zoology

Diferenças morfológicas das escamas cefálicas entre duas linhagens filogenéticas de *Micrurus* (Serpente: Elapidae)

Rafaela Martinelli da Costa^{1*}, Jorge Bernado-Silva² e Rodrigo Fornel¹

¹ Mestranda, Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Erechim, Caixa Postal 743 – CEP 99709-910 Erechim – Rio Grande do Sul - E-mail:

*rafaela__th@hotmail.com

² Departamento de Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências - CEP: 91501- 970. Porto Alegre, Rio Grande do Sul. E-mail: bernardo.silva@ufrgs.br

Resumo

Nas Américas a família Elapidae é representada por serpentes do gênero *Micrurus*. As espécies deste gênero possuem habito fossorial e estão distribuídas pelo Brasil. São divididas em duas linhagens filogenéticas (Monadal e Triadal), *Micrurus altirostris*, e *Micrurus silviae* são espécies simpátricas do grupo triadal, enquanto *Micrurus corallinus* representante do grupo Monadal. O presente estudo visa identificar as diferenças morfológicas das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal das três espécies relacionadas aos grupos filogenéticos. Foram analisados 272 exemplares de três espécies de *Micrurus*, através de técnicas de morfometria geométrica das escamas cefálicas da vista dorsal ventral e frontal.. Embora *M. altirostris* e *M. corallinus* pertençam a grupos filogenéticos distintos, os resultados aqui apresentados identificaram uma semelhança no tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal dessas espécies. Enquanto *M. silviae* difere de *M. altirostris* e *M. corallinus*, pois possui um tamanho corporal e tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal maior em relação as outras espécies. Contudo, em relação a forma, *M. corallinus* difere de *M. altirostris* e *M. silviae* que permanecem semelhantes entre si. Portanto, foi observado convergência no tamanho entre *M. altirostris* e *M. corallinus* enquanto que a forma *M. corallinus* diferiu significativamente das demais. Assim, observa-se o quão complexo é a evolução morfológica deste gênero.

Palavra-chave: Escamas Cefálicas. Morfologia. Serpente.

Abstract

In the Americas, the family Elapidae is represented by snakes of the genus *Micrurus*. The species of this genus have fossorial habit and occur in Brazil. They are divided into two phylogenetic lineages (Monadal and Triadal), *Micrurus altirostris*, and *Micrurus silviae* are sympatric species of the triadal group, while *Micrurus corallinus* representing the Monadal group. The present study aims to identify the morphological differences of cephalic scales from the dorsal, ventral and frontal views of the three species related to phylogenetic groups. 272 specimens of three species of *Micrurus* were analyzed, through geometric morphometrics of the cephalic scales of the ventral and frontal dorsal views. Although *M. altirostris* and *M. corallinus* belong to different phylogenetic groups, the results presented here identified a similarity in the size of the cephalic scales of the dorsal, ventral and frontal views of these species. While *M. silviae* differ from *M. altirostris* and *M. corallinus*, as it has a larger body size and size of cephalic scales from the dorsal, ventral and frontal views than other species. However in relation to shape, *M. corallinus* differ with *M. altirostris* and *M. silviae* that remain similar. Therefore, a convergence in size was observed between *M. altirostris* and *M. corallinus* while the *M. corallinus* shape differed significantly from the others. Thus, it is observed how complex the morphological evolution of this genus is.

Keyword: Cephalic scales. Morphology. Snake

Introdução

Amplamente distribuídas pelo planeta, a Família Elapidae contempla 365 espécies (Uetz, 2018), que estão presentes nos mais diversos habitats, sujeitas às múltiplas condições ambientais. Desde climas áridos, ambiente marinho, até florestas tropicais (Lema, 2002), que também ressalta como característica fundamental de sobrevivência desses organismos, destaca-se uma toxina potencialmente letal. São portadoras de denteção Proteróglifa. Nas Américas temos como representantes da família Elapidae o gênero *Micrurus*, as espécies que compõem esse gênero são conhecidas como cobras-corais devido sua coloração vibrante vermelha com anéis pretos marginados por branco. A biologia dessas espécies está associada com a coloração vibrante e apostemática relacionada com adaptações para a defesa (Melgarejo, 2003).

O gênero *Micrurus* se divide em duas linhagens filogenéticas distintas, o grupo Monadal (um anel preto, entre dois anéis brancos, e estes entre os anéis vermelhos), e o grupo Triadal (três anéis pretos, separados por anéis brancos, e esses entre os anéis vermelhos) (Lema, 2002; Melgarejo, 2003; Slowinski, 1995). Na região sul do Brasil são reconhecidas espécies do grupo Triadal como *Micrurus altirostris* (Cope, 1859) e *Micrurus silviae* Di-Bernardo, Borges-Martins e Silva, 2007 (Costa & Bérnis, 2018), dentro do grupo Monadal se destaca *Micrurus corallinus* (Merrem, 1820) amplamente distribuída pelo Brasil.

A espécie *M. altirostris* está distribuída pelo Uruguai, Argentina e Rio Grande do Sul. Alimenta-se de anfisbenas e pequenas serpentes, pode alcançar 1,3 m de comprimento (Freitas & Silva, 2006; Lema, 2002). A espécie *M. silviae*, habita locais abertos com distribuição associada às áreas de pastagem no oeste do Rio Grande do Sul, possui um comprimento superior a 1,1 m (Di-bernardo *et al.*, 2007), e sua alimentação não foi amplamente descrita. *M. corallinus* é uma serpente de porte médio com 50 cm para os machos e 60 cm para fêmeas (Melgarejo, 2003). Se alimentam de Gymnophionas e lagartos (Silva & Aird, 2001), além de algumas serpentes dos gêneros *Sibynomorphus*, *Oxyrhopus* e *Erythrolamprus* (Serapicos & Merusse, 2002). Essas serpentes possuem hábitos fossoriais ou subfossoriais e percorrem a camada superficial do solo e serrapilheira para se alimentar, após fortes chuvas e para acasalar (Andrade *et al.*, 2002). São ovíparas com 2 a 10 ovos por oviposição, esses podem ser encontrados em buracos,

formigueiros ou dentro de troncos (Andrade *et al.*, 2002; Freitas & Silva, 2006; Melgarejo, 2003).

As espécies de *Micrurus* analisadas nesses estudos pertencem a linhagens filogenéticas distintas, porém possuem as características comuns as serpentes da Família Elapidae, habitam locais distintos com características peculiares a eles, porém seu hábito fossorial, sua reprodução e dieta permanece relativamente semelhantes (Marques *et al.*, 2013). O presente estudo visa identificar as características morfológicas particulares de cada espécie com a seguinte hipótese. Espera-se que *M. altirostris* e *M. silviae*, ambas com tríades, sejam mais similares morfológicamente entre si, para forma e tamanho das escamas cefálicas, e que *M. corallinus* seja mais distinta por apresentar mônadas, ou seja, um grupo filogenético distinto.

Material e Métodos

Coleta de dados

O presente estudo analisou um total de 272 exemplares adultos, sendo *Micrurus altirostris* (N = 199), *M. silviae* (N = 33) e *M. corallinus* (N = 40) depositados em coleções científicas (Coleções: Museu Regional do Alto Uruguai da URI – Campus de Erechim (MuRAU), Museu Zoobotânico Augusto Ruschi - UPF (Muzar), Museu de Ciências Naturais - FZB/RS(MCN) e Museu de Ciências e Tecnologia - PUCRS (MCP)), que abrangem localização de quatro estados (Figura 1). Para cada espécime avaliado foram realizadas fotografias da região cefálica nas vistas dorsal, ventral e frontal. As fotos foram feitas com uma câmera fotográfica digital de 8 megapixels, com a função macro e sem o uso de flash. Para padronizar as fotografias foi utilizado um suporte para câmera a uma distância focal de 15 cm (Reis, *et al.*, 2015).

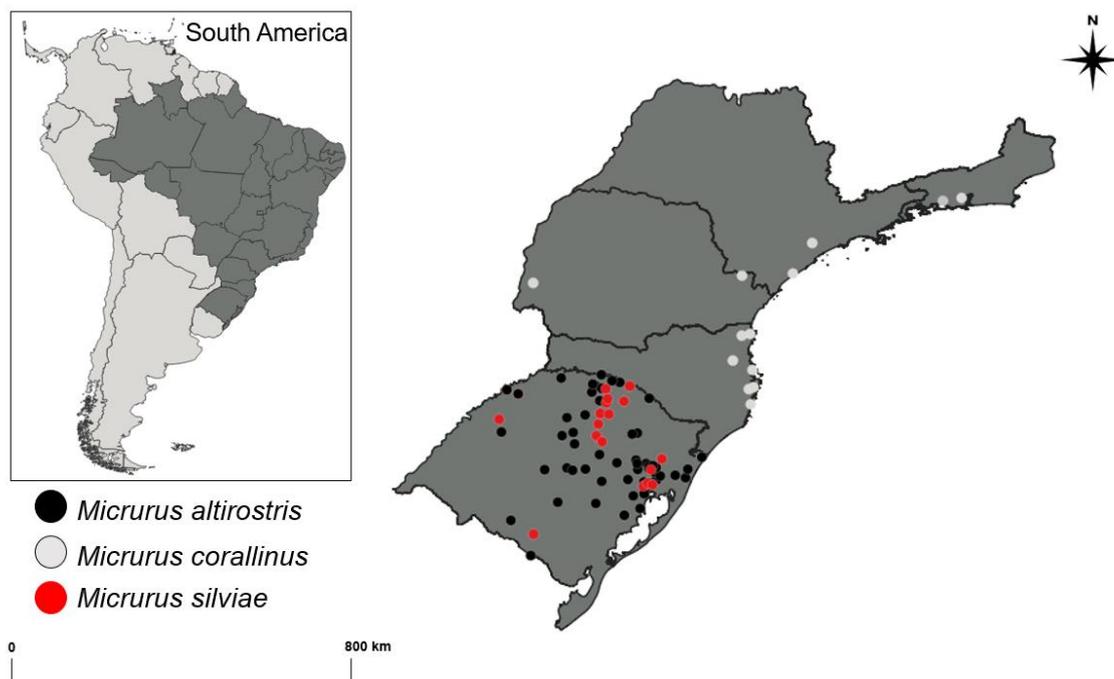


Figura 1 Mapa das localidades dos indivíduos de *Micrurus altirostris*, *M. silviae* e *M. corallinus* analisados.

Análise de dados

As fotografias digitais foram organizadas em listas com o programa TPSUtil (Rohlf, 2004), posteriormente marcos anatômicos foram determinados sendo 27 para vista dorsal, 17 para vista ventral e 8 para vista frontal (Figura 2) através do software TPSDig2 versão 2.10 (Rohlf, 2010). Posteriormente para remover os efeitos de posição, orientação e tamanho foi realizada uma análise de sobreposição generalizada de Procrustes (GPA) (Dryden & Mardia, 1998) que resulta nos resíduos de forma e no tamanho do centroide. Em seguida os resíduos de forma foram simetrizados quanto o lado esquerdo e direito, apenas o componente simétrico da forma foi analisado. Para avaliar a diferença do tamanho entre as espécies nas diferentes vistas, o tamanho do centroide log transformado das escamas dorsais, ventrais e frontais foi analisado através de uma ANOVA. Quando a ANOVA resultou em diferença significativa foi realizado um teste de Tukey. Para avaliar a diferença na forma entre as espécies foi utilizado uma análise de componentes principais (PCA), afim de avaliar se ocorre estruturação na forma das escamas dorsais, ventrais e frontais. Para testar a diferença de forma entre as três espécies foi utilizada uma análise de variância multivariada (MANOVA), em seguida foi realizada uma análise de variáveis canônicas (CVA). As análises estatísticas foram realizadas na

linguagem “R” versão 2.12.0 para Windows (R Development Core Team, 2011), com as seguintes bibliotecas: MASS (Venables & Ripley, 2002), ade4 (Dray & Dufout 2007), ape versão 1.8-2 (Paradis *et al.*, 2004), vegan (Oksanen *et al.*, 2011), STATS (R Development Core Team, 2009) e o geomorf (Adams *et al.*, 2017).

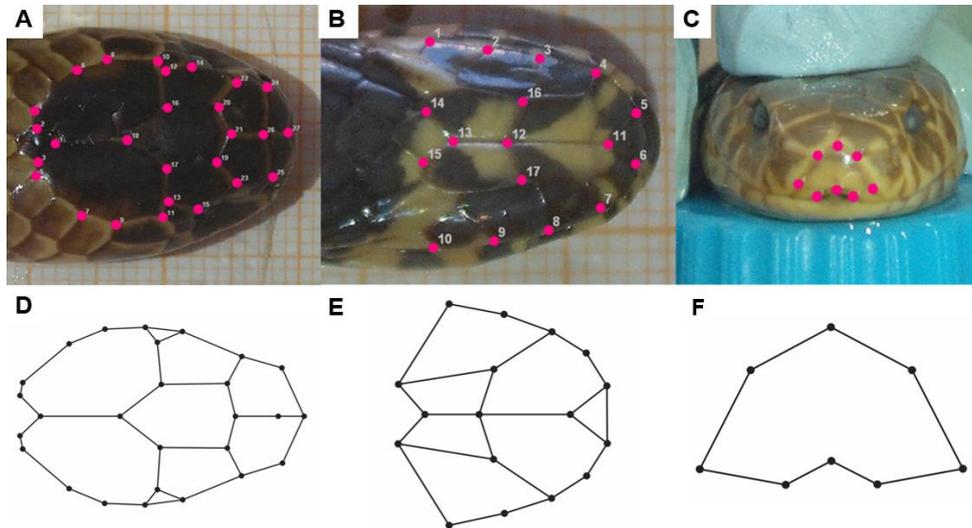


Figura 2 Marcos anatômicos em escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus silviae* (A); Marcos anatômicos em escamas da vista ventral de *M. silviae* (B); Marcos anatômicos em escamas da vista do frontal de *M. silviae* (C); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista dorsal e as linhas conectando as mesmas (D); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista ventral e as linhas conectando as mesmas (E); Média dos pontos das escamas cefálicas da vista frontal e as linhas conectando as mesmas (F).

Descrição dos marcos anatômicos das escamas cefálicas da vista dorsal: Ponto 1 intersecção da união das escamas parietais com as a escamas dorsal; 2, 4, 6 e 8 intersecção da escama parietal esquerda com as escamas dorsais; 3, 5, 7 e 9 intersecção da escama parietal direita com as escamas dorsais; 10, 12 e 14 intersecção da escama supraocular com a escama postocular esquerda; 11, 13 e 15 intersecção da escama supraocular com a escama postocular direita; 16 e 20 intersecção da escama frontal com a escama supraocular esquerda, 17 e 19 intersecção da escama frontal com a escama supraocular direita; 18 intersecção da escama frontal com a união das escamas parietais; 21 intersecção da escama frontal com a união das escamas prefrontais; 22 intersecção da escama prefrontal com a escama supraocular esquerda; 23 intersecção da escama prefrontal com a escama supraocular direita; 24 intersecção da escama prefrontal com a escama internasal esquerda; 25 intersecção da escama prefrontal com a escama internasal direita;

26 intersecção da união das escamas prefrontais com a união das escamas internasais; 27 intersecção da escama internasal com a escama rostral.

Marcos anatômicos das escamas cefálicas da vista ventral: 1, 2, 3 e 4 porção superior das escamas infralabiais esquerda; 7, 8, 9 e 10 4 porção superior das escamas infralabiais direita; 5 intersecção da escama infralabial esquerda com a escama mental; 6 intersecção da escama infralabial direita com a escama mental; 11 intersecção da união das escama infralabiais com a escama mental; 12 união das escamas submentais na porção interior; 13 intersecção da união das escamas submentais com a escama gular; 14 intersecção da escama submental esquerda com a escama gular; 15 intersecção da escama submental direita com a escama gular; 16 intersecção da escama submental esquerda com porção inferior da escama infralabial; 17 intersecção da escama submental direita com porção inferior da escama infralabial. Marcas anatômicas das escamas cefálicas da vista frontal: 1, 2 e 3 porção inferior da escama rostral; 4, 5, 6, 7 e 8 intersecção da porção superior da escama rostral com as escamas internasais.

Resultados

Ao analisar o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal de *Micrurus altirostris*, *M. silviae* e *M. corallinus*, observa-se através dos resultados da ANOVA, a diferença significativa no tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal ($F=36,25$; $p < 0,001$) entre as três espécies. O teste de Tukey a posteriori constatou diferença significativa entre *M. altirostris* e *M. silviae* ($p < 0,001$), e *M. corallinus* e *M. silviae* ($p < 0,001$), mas não ocorreu diferença significativa entre *M. altirostris* e *M. corallinus* ($p = 0,692$) (Figura 3).

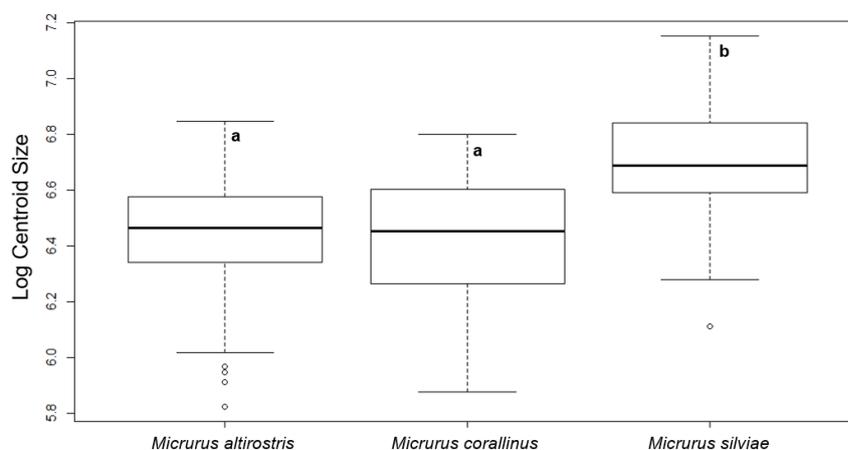


Figura 3 Boxplot do tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*. Letras diferentes sobre as caixas indicam diferença significativa.

Quando analisado a forma das escamas cefálicas da vista dorsal das três espécies, a PCA não apresentou nenhuma estruturação então não será apresentada. No entanto, foi identificado diferença significativa (Wilks' $\lambda = 0,290$; $F = 8,376$; $p < 0,001$). A análise de variáveis canônicas destacou que a forma das descamas cefálicas da vista dorsal de *M. corallinus* difere da forma das escamas cefálicas de *M. altirostris* e *M. silviae* que permanecem semelhantes entre si (Figura 4). No eixo da CV1 nos escores negativos, é possível observar que as escamas cefálicas parietais são mais estreitas em sua porção final, terminando em um ângulo mais agudo, e com o rostro proporcionalmente mais alargado (Figura 4). Já o escores positivos da CV1 apresentam as escamas parietais proporcionalmente mais alargadas e mais arredondadas em sua porção terminal, com o rostro proporcionalmente mais estreito (Figura 4).

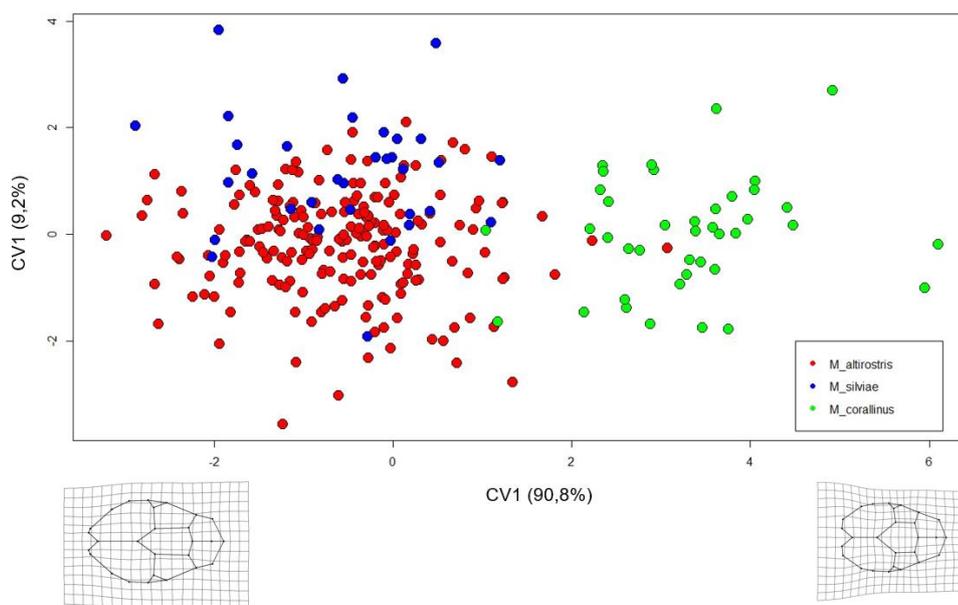


Figura 4 Análise de variáveis canônicas da forma das escamas cefálicas da vista dorsal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*. O percentual de variação explicada por cada eixo é apresentado entre parênteses.

Ao analisar as escamas cefálicas da vista ventral das três espécies foi observado através dos resultados da ANOVA diferença significativa ($F = 20,74$; $p < 0,001$), o teste de Tukey a posteriori constatou diferença significativa entre *M. altirostris* e *M. silviae* (p

$< 0,001$) e *M. corallinus* e *M. silviae* ($p < 0,001$), mas não ocorreu diferença significativa entre *M. corallinus* e *M. altirostris* ($p = 0,662$) (Figura 5).

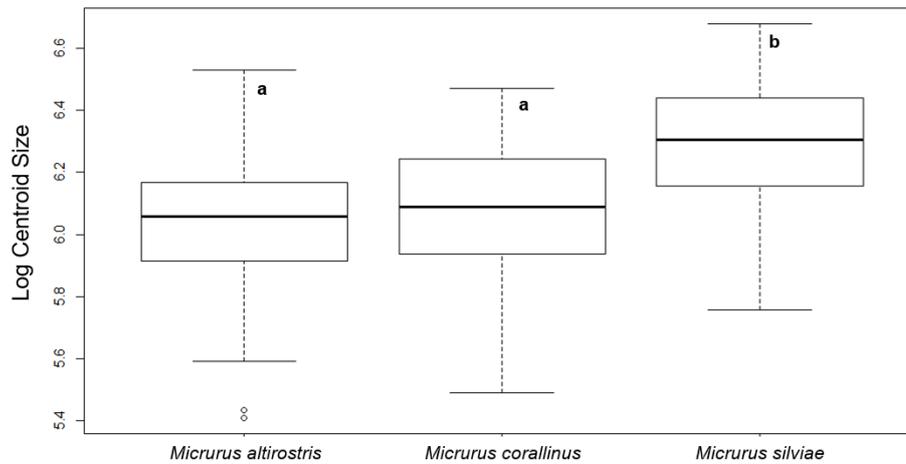


Figura 5 Boxplot do tamanho das escamas cefálicas da vista ventral de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*. Letras diferentes sobre as caixas indicam diferença significativa.

A PCA não apresentou nenhuma estruturação então não será apresentada, também foi observado diferença significativa nos resultados da MANOVA para a forma das escamas cefálicas da vista ventral entre as três espécies (Wilks' $\lambda = 0,390$; $F = 8,957$; $p < 0,001$). Assim como na vista dorsal, a análise de variáveis canônicas destacou que a forma das escamas cefálicas da vista ventral de *M. corallinus* difere da forma das escamas cefálicas de *M. altirostris* e *M. silviae* que permanecem semelhantes (Figura 6). No eixo da CV1 nos escores negativos, é possível observar que as escamas cefálicas infralabiais são mais deslocadas para a região posterior e mais alargadas em sua porção lateral, já as escamas submentais são deslocadas anteriormente na linha média (Figura 6). Já o escores positivos da CV1 apresentam as escamas infralabiais deslocadas anteriormente, enquanto que as escamas submentais são deslocadas posteriormente na linha média (Figura 6).

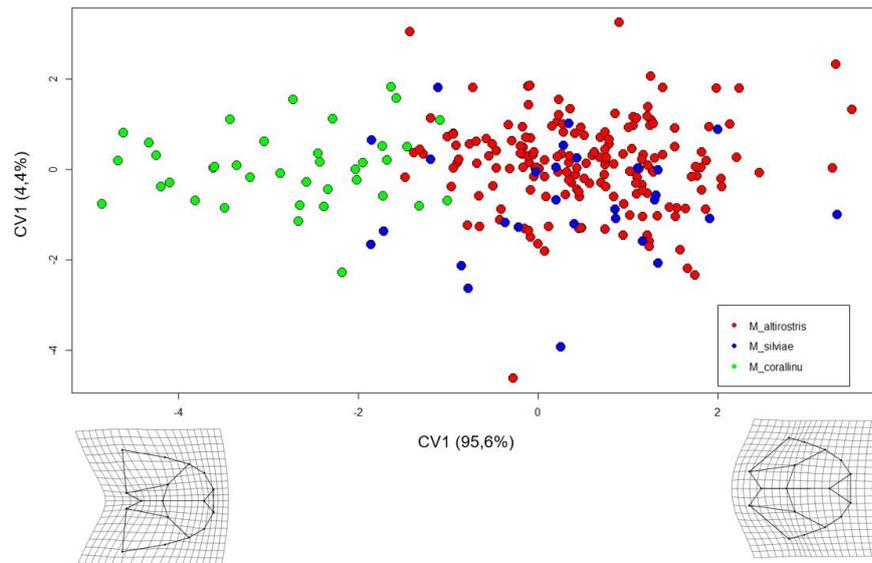


Figura 6 Análise de variáveis canônicas da forma das escamas cefálicas da vista ventral de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*. O percentual de variação explicada por cada eixo é apresentado entre parênteses.

O mesmo padrão pode ser observado ao analisar o tamanho das escamas cefálicas da vista frontal das três espécies, foi identificada diferença significativa ($F = 9,341$; $p < 0,001$), o teste Tukey a posteriori constatou novamente diferença significativa entre *M. altirostris* e *M. silviae* ($p < 0,001$) e *M. corallinus* e *M. silviae* ($p = 0,001$), mas não foi significativo entre *M. altirostris* e *M. corallinus* ($p = 0,789$) (Figura 7).

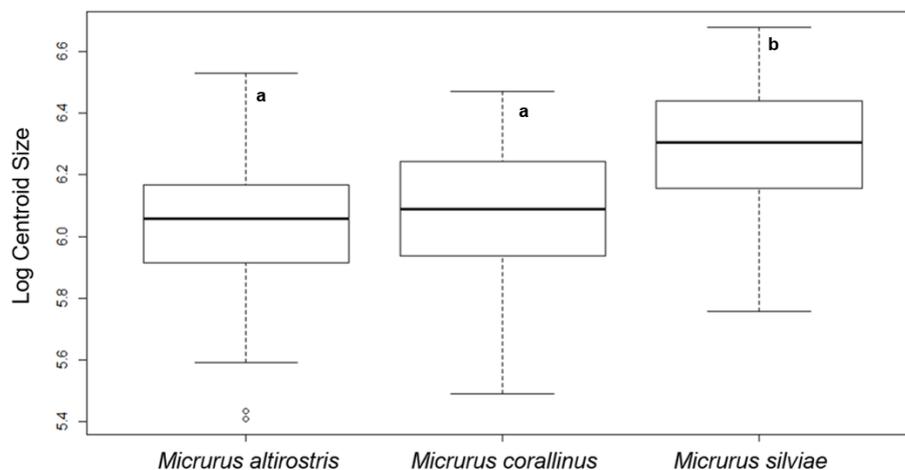


Figura 7 Boxplot do tamanho das escamas cefálicas da vista frontal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*. Letras diferentes sobre as caixas indicam diferença significativa.

Para a análise de forma das escamas cefálicas da vista frontal novamente a PCA não apresentou nenhuma estruturação, assim não será apresentada. Também foi observada diferença significativa (Wilks' λ = 0,578; F = 9,591; p < 0,001). O mesmo padrão é observado na análise de variáveis canônicas para a forma das escamas cefálicas da vista frontal, que destacou que *M. corallinus* destoa da forma das escamas cefálicas de *M. altirostris* e *M. silviae* que permanecem semelhantes (Figura 8). No eixo da CV1 nos escores negativos, é possível observar que a escama cefálica rostral é comprimida dorsoventralmente, enquanto que nos escores positivos da CV1 é comprimida dorsolateralmente (Figura 8).

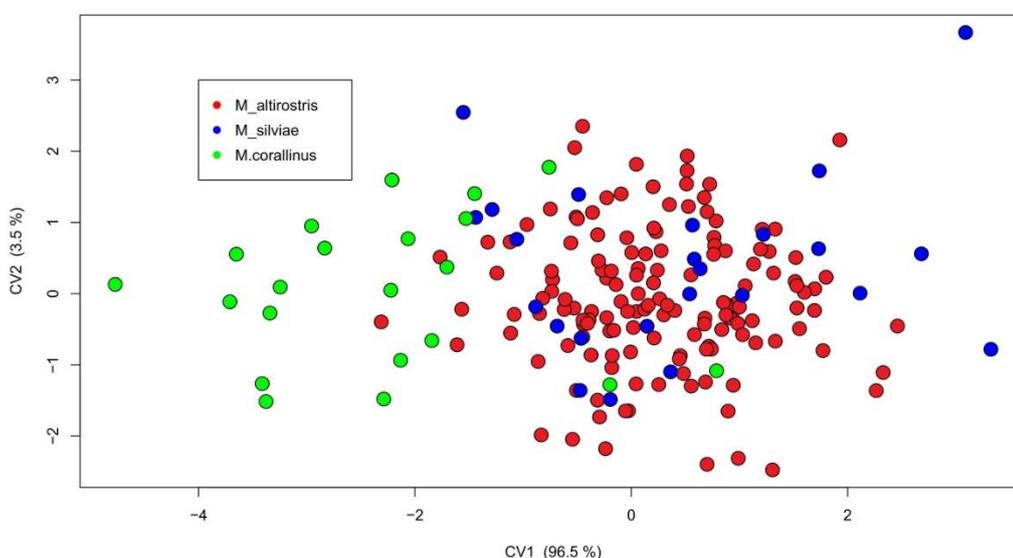


Figura 8. Análise de variáveis canônicas da forma das escamas cefálicas da vista frontal de *Micrurus altirostris*, *M. corallinus* e *M. silviae*. O percentual de variação explicada por cada eixo é apresentado entre parênteses.

Discussão

As diferenças morfológicas das espécies de *Micrurus* analisadas no presente estudo estão relacionadas ao tamanho e forma das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal, além como o padrão de coloração que difere os dois grupos filogenéticos. Quando analisamos o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal, nota-se uma diferença significativa entre as três espécies, sendo que a diferença pode ser observada em *M. silviae* que difere de *M. altirostris* e *M. corallinus*, que apresentam um tamanho semelhante. *M. silviae* possui um tamanho corporal superior quando comparado as outras espécies do gênero *Micrurus*, não apenas em comprimento, mas em massa também.

Embora *M. altirostris* e *M. silviae* se caracterizarem como espécies simpátricas e que descendem do mesmo grupo filogenético, *M. silviae* possui um tamanho corporal superior quando comparada a *M. altirostris* (Di-bernardo *et al.*, 2007).

A forma das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal também difere entre as três espécies, contudo para forma *M. corallinus* difere de *M. altirostris* e *M. silviae* que permanecem semelhantes entre si. Como no estudo de Mangiacotti *et al.*, (2014), os resultados indicam diferença na forma das escamas cefálicas entre os clados estudados, aonde a diferença significativa no formato da cabeça entre os clados destaca-se na região frontal da cabeça. Ao observar as escamas cefálicas da vista dorsal, nota-se que *M. altirostris* e *M. silviae* possuem as escamas cefálicas parietais estreitas em sua porção final enquanto indivíduos de *M. corallinus* apresentam as escamas parietais proporcionalmente mais alargadas (Figura 04). Separando assim através da forma das escamas cefálicas, os dois grupos filogenéticos.

Na vista ventral de observa-se que *M. corallinus* possui as escamas cefálicas infralabiais mais deslocadas para a região posterior, enquanto *M. altirostris* e *M. silviae* apresentam as escamas infralabiais deslocadas anteriormente (Figura 06). Contudo ao observar a vista frontal todas as espécies possuem indivíduos que se enquadram nos grupos que possuem a escama cefálica rostral comprimida dorsoventralmente, assim como a escama cefálica rostral comprimida dorsolateralmente (Figura 08). No presente trabalho *M. altirostris* e *M. silviae* foram elencadas como grupo filogeneticamente próximos por conta do padrão de tríade que ambas apresentam, enquanto *M. corallinus* foi considerada um grupo filogeneticamente distante por conta do padrão de mônadas que a mesma apresenta. Assim os resultados de forma comparativa aqui apresentados estão relacionados com a filogenia das mesmas, enquanto os resultados de tamanho podem estar associados a um contexto ecológico não abordado nesse trabalho.

As espécies *M. altirostris* e *M. silviae* são espécies simpátricas que habitam o bioma Mata Atlântica e Pampa no sul do Brasil, com uma morfologia muito semelhante ambas possuem tríades, essas são caracterizadas por uma sequência de três anéis pretos marginados de branco, ambas possuem duas placas grandes de escamas na cabeça característica das corais-verdadeiras (Di-bernardo *et al.*, 2007). Apesar das semelhanças na coloração e morfologia geral, *M. silviae* se diferencia de *M. altirostris* no tamanho corporal maior, os resultados do presente trabalho ainda reforçam essa diferença no tamanho quando comparadas as escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal.

As espécies *M. altirostris* e *M. corallinus*, apesar de ambas ocorrerem no bioma Mata Atlântica, elas não são simpátricas. Isso pois, *M. altirostris* habita o sul do Brasil enquanto o *M. corallinus* está bem distribuída na região sudeste do Brasil, os registros de *M. corallinus* no sul do Brasil são duvidosos então admitisse-se que essas espécies não coocorrem. Os resultados do presente trabalho indicam que *M. altirostris* e *M. corallinus* possuem o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal semelhantes. Nota-se que a diferença morfológica na forma entre essas espécies está ligada diretamente as diferentes linhagens filogenéticas.

As espécies *M. altirostris* e *M. silviae* são simpátricas, assim como mencionado a cima, dessa forma apesar de habitarem o mesmo bioma (Mata Atlântica), *M. silviae* e *M. corallinus* são espécies não coocorrentes. Contudo as diferenças de *M. silviae* e *M. corallinus* estão relacionadas a morfologia geral, assim como as características referentes as linhagens filogenéticas. Os resultados do presente estudo indicam que o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal difere entre *M. silviae* e *M. corallinus*, aonde *M. silviae* possui um tamanho maior que *M. corallinus*. Assim como o tamanho das escamas cefálicas, a coloração também é uma característica morfológicas que difere essas espécies. Assim *M. silviae* possui o mesmo padrão de tríades que *M. altirostris*, enquanto *M. corallinus* possui o padrão de Mônadas. Dentre as duas linhagens filogenéticas que abrangem o gênero *Micrurus* podemos destacar que além das diferenças na coloração e anéis, observa-se uma diferença no tamanho e forma das escamas dorsais, ventrais e frontais. Rastrear como essas linhagens evoluíram não é uma tarefa fácil, assim como as diferentes estratégias de reprodução entre os indivíduos das duas linhagens (Marques *et al.*, 2013).

Conclusão

O presente estudo concluiu que as espécies simpátricas que derivam do mesmo grupo filogenético (*Micrurus altirostris* e *Micrurus silviae*), possuem o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal diferente. Enquanto as espécies de grupo filogenéticos distantes (*M. altirostris* e *M. corallinus*), possuem o tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal semelhantes. Assim *M. silviae* difere de *M. altirostris* e *M. corallinus*, pois possui um tamanho corporal superior assim como suas escamas cefálicas, resultando assim em uma possível convergência adaptativa. Contudo ao analisar a forma das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal das três espécies, observa-se que *M. corallinus* destoa de *M. altirostris* e *M. silviae* que

permanecem semelhantes, reforçando assim a diferença da morfologia entre as diferentes linhagens analisadas. Portanto, foi observado convergência no tamanho entre *M. altirostris* e *M. corallinus* enquanto que a forma *M. corallinus* diferiu significativamente das demais. Assim, observa-se o quão complexo é a evolução morfológica deste gênero.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais aos profissionais que nos auxiliaram nos museus (Coleções: Museu Regional do Alto Uruguai da URI – Campus de Erechim (MuRAU), Museu Zoológico Augusto Ruschi - UPF (Muzar), Museu de Ciências Naturais - FZB/RS(MCN) e Museu de Ciências e Tecnologia - PUCRS (MCP). Ao PPG de Ecologia da URI Campus Erechim-RS com o auxílio da bolsa PROSUC-CAPES, e ao grupo de pesquisa em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Referências

- Adams, D.C., Collyer, M.L., Kaliontzopolou & A., Sherratt, R. (2017). **Geomorph**: Software for geometric morphometric analyses. R package version 3.0.5.
- Andrade, A., Pinto, S.C. & Oliveira, R.S. (2002) **Animais de Laboratório: criação e experimentação [online]**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ.
- Costa, H.C. & Bérnils, R.S. (2018). Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas: Lista de espécies. *Herpetologia Brasileira*. **07**.
- Di-BEernado, M., Borges-Martins, M. & Silva, JR, N.J. (2007). A new species of coralsnake (*Micrurus*: Elapidae) from southern Brazil. *Zootaxa*. **1447**, 1-26.
- Dray, S. & Dufours, S.B. (2007). **The ade4 package**: Implementing the duality diagram for ecologists. *J Stat Softw.* **22**, 1-20.
- Dryden, I.L. & Mardia, K.V. (1998). **Statistical shape analysis**. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
- Freitas, M.A. & Silva, T.F.S. (2006) **Guia ilustrado: animais venenosos e peçonhentos no Brasil**. Editora União Sul-Americana de Estudos da Biodiversidade, Porto Alegre.
- Lema, T. (2002) **Os répteis do Rio Grande do Sul. Atuais e fósseis – biogeografia – ofidismo**. EDIPUCRS, Porto Alegre.
- Mangiacotti, M., Limongi, L., Sannolo, M., Sacchi, R., Zuffi, M.A.L. & Scali, S. (2014). Head shape variation in eastern and western Montpellier snakes. *Acta Herpetologica*. **09**, 167-177.

- Marques, O.A.V., Pizzatto, L.G. & SANTOS, S.A. (2013). Reproductive Strategies of New World Coral Snakes, Genus *Micrurus*. *Herpetologica*. **69**, 58–66.
- Melgarejo, A.R. (2003). Epidemiologia dos acidentes por animais peçonhentos. In: Cardoso, J.L.C., França, F.O.S., Wen, F.H., & Malaque, C.M.S., Haddad Junior, V., Eds). *Animais peçonhentos no Brasil: biologia, clínica e terapêutica dos acidentes*. Sarvier, São Paulo, SP. 33-62.
- Oksanen, J., Blanchet, F.G., Kindt, R., Legendre, P., O’hara, B.R., Simpson, G.L., Solymos, P., Stevens, M.H.H. & Wagner, H. (2011). *Vegan: Community Ecology Package*. R package version 1.17-6.
- Paradis, E.S.K., Claude, J.J.G., Open-rhein, R., Dultheil, J. & Bolker, N.B. (2004). **APE**: Analyses of Phylogenetics and Evolution in R. *Bioinformatics* **20**, 289-290.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **Stats – R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Development Core Team, 2009.
- Reis, R.F., Iager, C.T., Oliveira, M., Marinho, J.R. & Fornel, R. (2015). Comparação Entre Placas Cefálicas De *Micrurus altirostris* Cope, 1860 e *Micrurus Frontalis* Duméril, Bibron & Duméril, 1854 (Serpentes, Elapidae) Por Meio De Técnicas De Morfometria Geométrica. *PERSPECTIVA*. **39**,33-42.
- Rohlf F. J. (2010). **TPSDig2**, ver. 2.16, software by F. James Rohlf Dept. Ecology and Evolution, State University of New York Stony Brook. Disponível em: <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.
- Rohlf, F. J. (2004). **TpsUtil**, ver. 1.26 software; **TpsDig**, ver. 1.40 software and **TpsREGR**, ver. 1.29. Available from the author, Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.
- Serapicos, E.O. & Merusse, J.L.B. (2002). Análise comparativa entre tipos de alimentação de *Micrurus corallinus* (Serpentes, Elapidae) em cativeiro. *Iheringia, Sér. Zool.* **92**, 99-103.
- Slowinski, J.B. (1995). A Phylogenetic Analysis of the New World Coral Snakes (Elapidae: Leptomicrurus, Micruroides, and *Micrurus*) Based on Allozymic and Morphological Character. *Journal of Herpetology*. **29**, 325-338.
- Silva JR, N.J. & Aird, S.D. (2001) Prey specificity, comparative lethality and compositional differences of coral snake venoms. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 425-456.
- Uetz. P. (2018). The Reptile Database. Disponível em:<<http://www.reptile-database.org/db-info/SpeciesStat.html>>.Acesso em 12 de março de 2020.

Venables, W.N. & Ripley, B.D. (2002) **MASS**: Modern Applied Statistics with S. 4th edition. Springer, New York, 495.

CONCLUSÃO GERAL

O presente trabalho avaliou as diferenças morfológicas de indivíduos de *Micrurus altirostris* que habitam o Pampa e Mata Atlântica, através da morfometria geométrica, as escamas cefálicas da vista dorsal e ventral foram analisadas, assim como medidas de morfológicas geral. Observou-se que existe dimorfismo sexual presente nessa espécie, aonde o macho possui um tamanho corporal maior que a fêmea, contrariando a literatura referente ao dimorfismo sexual de outros grupos de serpentes. Também foi avaliada o tamanho das escamas cefálicas dorsais e ventrais, aonde não foi encontrada diferença significativa para, porém existe diferença significativa na forma das escamas cefálicas ainda que muito sutil. Com esta pequena diferença de forma é possível levantar a hipótese de morfologia conservada, com pouca distinção entre biomas e não excludente a ideia de fluxo gênico homogeneizando as populações provenientes dos diferentes biomas.

Também foi analisada a diferença morfológica das escamas cefálicas de três espécies de *Micrurus* de linhagens filogenéticas diferentes. Esperava-se que por possuírem tríades, as espécies *M. altirostris* e *M. silviae* seriam similares em tamanho e forma das escamas cefálicas, enquanto diferiam de *M. corallinus* que possui um padrão de mônadas. Para tamanho das escamas cefálicas da vista dorsal, ventral e frontal observou-se que *M. silviae* difere de *M. altirostris* e *M. corallinus*, enquanto que para forma *M. corallinus* difere de *M. altirostris* e *M. silviae* reforçando assim os distintos grupos filogenéticos que as espécies pertencem. Portanto, foi observado convergência no tamanho entre *M. altirostris* e *M. corallinus* enquanto que a forma *M. corallinus* diferiu significativamente das demais. Assim, observa-se o quão complexo é a evolução morfológica deste gênero.

Referências

- ABREU, T. P. F. Estudo filogeográfico de *Micrurus lemniscatus* (LINNAEUS, 1758) (SERPENTES: ELAPIDAE). 2014. 48 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Biologia Molecular) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- AMORIM, A.E.; SCHOENER, T.W.; SANTORO, G.R.C.C.; LINSÁ, A.C.R.; PIOVIA-SCOTTI, J.; BRANDÃO, R.A. Lizards on newly created islands independently and rapidly adapt in morphology and diet. **PNAS**. 2017
- ANDRADE, A., PINTO, SC.; OLIVEIRA, RS. **Animais de Laboratório: criação e experimentação [online]**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ. 2002
- COSTA, H.C.; BÉRNILS, R.S. Répteis do Brasil e suas Unidades Federativas: Lista de espécies. **Herpetologia Brasileira**. v. 07, p. 01. 2018
- EDWARDS, S.; HERREL, A.; VANHOODONCK, B.; G. JOHN MEASEY, G.J.; TOLLEY, K.A. Diving in head first: trade-offs between phenotypic traits and sand-diving predator escape strategy in Merops desert lizards. **Biological Journal of the Linnean Society**. 2016
- FREITAS, M.A.; SILVA, T.F.S. **Guia ilustrado: animais venenosos e peçonhentos no Brasil**. Editora União Sul-Americana de Estudos da Biodiversidade, Porto Alegre. 2006.
- KIRCHHDIM, P.D.; GOULART, R. Ecomorfologia de predação e antipredação em Siluriformes (Osteichthyes) **Oecologia Australis**. v. 14, n.2, p. 550-568. 2010.
- LEMA, T. **Os répteis do Rio Grande do Sul. Atuais e fósseis – biogeografia – ofidismo**. EDIPUCRS, Porto Alegre. 2002.
- LILLYWHITE, H.B. Circulatory adaptations of snakes to gravity. **American Zoologist**. 27:81-95. 1987.
- MANGIACOTTI, M. LIMONGI, L; SANNOLO, M; SACCHI, R; ZUFFI, M.A.L.; SCALI, S. Head shape variation in eastern and western Montpellier snakes. **Acta Herpetologica**. v. 9, n.2, p: 167-177. 2014
- MARTINS, M.; MOLINA, F. B. Panorama geral dos répteis ameaçados do Brasil. In: MACHADO, A.; DRUMMOND, G. M.; PAGLIA, A. P. (Org.). Livro Vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção. 1ed.Brasília/Belo Horizonte: Ministério do Meio Ambiente/Fundação Biodiversitas. v. 2, p. 327-334. 2008.
- MEIK, J.M., SETSER, K; MOCIÑO-DELOYA, E.; LAWING, A.M. Sexual differences in head form and diet in a population of Mexican lance-headed rattlesnakes, *Crotalus polystictus*. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 106, p. 633–640. 2012.

- MELGAREJO, A.R. Epidemiologia dos acidentes por animais peçonhentos. In: CARDOSO, J.L.C.; FRANÇA, F.O.S.; WEN, F.H.; MALAQUE, C.M.S.; HADDAD JUNIOR, V.; Eds). Animais peçonhentos no Brasil: biologia, clínica e terapêutica dos acidentes. Sarvier, São Paulo, SP. p. 33-62. 2003.
- REIS, R.F.; IAGER, C.T.; OLIVEIRA, M.; MARINHO, J.R.; FORNEL, R. Comparação Entre Placas Cefálicas De *Micrurus Altirostris* Cope, 1860 e *Micrurus Frontalis* Duméril, Bibron & Duméril, 1854 (Serpentes, Elapidae) Por Meio De Técnicas De Morfometria Geométrica. **PERSPECTIVA**. v. 39, Edição Especial, p. 33-42, 2015.
- RUANE, S. Using geometric morphometrics for integrative taxonomy: an examination of head shapes of milksnakes (genus *Lampropeltis*). **Zoological Journal of the Linnean Society**. v. 174, p. 394–413. 2015.
- SLOWINSKI, J.B. A Phylogenetic Analysis of the New World Coral Snakes (Elapidae: *Leptomicrurus*, *Micruroides*, and *Micrurus*) Based on Allozymic and Morphological Character. **Journal of Herpetology**. v. 29, N. 3, p. 325-338. 1995
- SIMÕES, T.R.; CALDWELL, M.W.; TALANDA, M.; BERNARDI, M.; PALCI, A.; VERNYGORAL, O.; BERNARDINI, F.; MANCINI, L.; NYDAM, R.L. The origin of squamates revealed by a Middle Triassic lizard from the Italian Alps. **Nature**. v. 557. p.706- 709. 2018.
- SOBRAL, F. L.; CIANCIARUSO; M. V. Estrutura filogenética e funcional de assembleias: (re)montando a ecologia de comunidades em diferentes escalas espaciais **Bioscience Journal**. v. 28, n. 4, p. 617-631. 2012.
- TANAKA, G.D.; FURTADO, M.F.D.; PORTARO, F.C.V.; SANT'ANNA, O.A.; TAMBOURGI, D.V. Diversity of *Micrurus* Snake Species Related to Their Venom Toxic Effects and the Prospective of Antivenom Neutralization **PLoS Neglected Tropical Diseases**. v. 04, n. 03. 2010
- UETZ, P. 2018. The Reptile Database. Disponível em:<<http://www.reptile-database.org/db-info/SpeciesStat.html>>.Acesso em 12 de março de 2020.