

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Morfologia comparada dos membros anteriores e cintura escapular de  
cágados sul-americanos (Testudines, Pleurodira)**

Juliana Moreira da Silva  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**JULIANA MOREIRA DA SILVA**

**Morfologia comparada dos membros anteriores e cintura escapular de  
cágados sul-americanos (Testudines, Pleurodira)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Pedro S. Ribeiro Romano

Coorientador: Thiago Fiorillo Mariani

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586m  
2025  
Silva, Juliana Moreira da, 1998-  
Morfologia comparada dos membros anteriores e cintura  
escapular de cágados sul-americanos (Testudines, Pleurodira) /  
Juliana Moreira da Silva. – Viçosa, MG, 2025.  
1 dissertação eletrônica (121 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndices.

Orientador: Pedro Seyferth Ribeiro Romano.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Biologia Animal, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.314>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Tartarugas. 2. Tartarugas - Locomoção. 3. Tartarugas  
- Habitat. 4. Membros anteriores. 5. Escápula. I. Romano, Pedro  
Seyferth Ribeiro, 1979-. II. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Biologia Animal. Programa de Pós-Graduação  
em Biologia Animal. III. Título.

CDD 22. ed. 597.92

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552

**JULIANA MOREIRA DA SILVA**

**Morfologia comparada dos membros anteriores e cintura escapular de  
cágados sul-americanos (Testudines, Pleurodira)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de abril de 2025.

Assentimento:

---

Juliana Moreira da Silva  
Autora

---

Pedro Seyferth Ribeiro Romano  
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 19/05/2025 às 17:21:47 e pelo orientador em 19/05/2025 às 17:31:11. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **PISK.6AY5.YOIJ** e clique no botão 'Validar documento'.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Primeiramente, quero agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro, o qual me permitiu uma formação acadêmica diferenciada e de qualidade, sendo imprescindível para o desenvolvimento e resultado desta pesquisa.

Agradeço também à Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal pela infraestrutura, pelos recursos disponíveis e pelo ambiente que favoreceu meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo (MZUSP) pela autorização e suporte durante a visita técnica e estudo da coleção de osteologia.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Pedro Seyferth Ribeiro Romano e Dr. Thiago Fiorillo Mariani. A orientação atenta, as contribuições valiosas e a paciência de vocês ao longo desse processo foram fundamentais não apenas para a realização deste trabalho, mas também para minha formação profissional.

Aos colegas de laboratório pela colaboração no dia a dia e pelas trocas de ideias e experiências que ajudaram diretamente no desenvolvimento da pesquisa.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta trajetória, deixo aqui minha sincera gratidão.

## RESUMO

SILVA, Juliana Moreira da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2025. **Morfologia comparada dos membros anteriores e cintura escapular de cágados sul-americanos (Testudines, Pleurodira)**. Orientador: Pedro Seyferth Ribeiro Romano. Coorientador: Thiago Fiorillo Mariani.

A América do Sul abriga uma das maiores diversidades de Testudines do mundo, sendo que Chelidae é a família com maior riqueza de espécies na região. Estruturas ósseas – como membros, casco e crânio – de indivíduos dessa Ordem estão sujeitos à variações morfológicas não somente por influências filogenéticas, mas também ecológicas. Em função disso, estudos de osteologia apresentam potencial de inferir informações acerca da evolução morfológica, taxonomia, hábitos ecológicos e, conseqüentemente, conservação e resgate histórico do grupo. O presente trabalho consiste em uma análise morfométrica da cintura escapular de Testudines, com o foco em espécies da família Chelidae nativas da América do Sul. O objetivo foi verificar se a morfologia da cintura escapular consiste em um bom classificador para os diferentes habitats conhecidos para as espécies analisadas. Para atingirmos o objetivo, trabalhamos com as medidas lineares e proporções das estruturas do membro anterior (autopódio, zeugopódio e estilopódio) e realizamos uma análise de morfometria geométrica dos ossos da cintura escapular (escápula e coracoide). As análises incluíram 39 espécies representantes de 7 famílias, Chelidae, Podocnemididae, Kinosternidae, Emydidae, Chelidryidae, Cheloniidae e Testudinidae. As espécies foram categorizadas de acordo com 3 classificadores, 2 ecológicos (tipos e subtipos de habitats) e 1 taxonômico (famílias). Os tamanhos de centroides das configurações foram utilizados como variável de tamanho e a matriz de resíduos de Procrustes como variáveis de forma. Com intuito de reduzir a dimensionalidade dos dados, aplicou-se uma Análise de Componentes Principais (PCA) sob a matriz de resíduos e os maiores componentes foram utilizados como variável de forma. Em seguida, os grupos (classificadores) foram comparados através dos testes de Shapiro-Wilk, ANOVA (teste F) e/ou Kruskal-Wallis e Mann-Whitney. Adicionalmente, foram efetuadas regressões lineares entre as variáveis de tamanho (independente) e forma (dependente) para verificar se existe efeito alométrico nas estruturas. A partir dos resultados, percebe-se que há pouco efeito alométrico na cintura escapular e que as espécies terrestres, da família Testudinidae, podem ser mais claramente diferenciadas dos demais grupos pela forma, enquanto que as espécies marinhas, da família Cheloniidae, foram as que mais se diferenciaram pelo tamanho. Os Testudines de diferentes hábitos

de vida apresentam algumas variações na morfologia da cintura escapular compatíveis com as adaptações dos membros anteriores, apresentando uma clara diferenciação entre as espécies terrestres e aquáticas (semiaquáticas e marinhas). Isso sugere que, assim como demonstrado por estudos recentes em outros ossos, as variações morfológicas observadas na cintura escapular podem ser parcialmente explicadas pelas funções adicionais que a estrutura desenvolve devido ao meio e à locomoção. Embora os grupos ecológicos tenham apresentado alguma diferenciação entre as espécies, a classificação a partir das famílias foi a que resgatou uma estrutura mais coerente no morfoespaço, especialmente entre as subclassificações de tipos semiaquáticos. Em síntese, os classificadores ecológicos são eficientes em agrupar as espécies, indicando que os habitats (gerais e específicos) possuem alguma influência na morfologia dos ossos da cintura escapular, entretanto, a filogenia se mostrou claramente um melhor classificador das espécies analisadas, inferindo uma maior influência desse fator.

Palavras-chave: Testudines; Pleurodira; Morfometria geométrica; Locomoção; Habitats; Esqueleto apendicular; Membro anterior; Coracoide; Escápula

## ABSTRACT

SILVA, Juliana Moreira da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2025. **Comparative morphology of the forelimbs and shoulder girdle in South American freshwater turtles (Testudines, Pleurodira)**. Adviser: Pedro Seyferth Ribeiro Romano. Co-adviser: Thiago Fiorillo Mariani.

South America is home of one of the highest diversity of Testudines in the world, with Chelidae being the family with the highest species richness in the region. Bone structures – such as limbs, shell and skull – of individuals of this Order are subject to morphological variations not only due to phylogenetic influences, but also ecological ones. Therefore, osteology studies have the potential to infer information about the morphological evolution, taxonomy, ecological habits and, consequently, conservation and history of the group. The present work consists of a morphometric analysis of the shoulder girdle of Testudines, focusing on species of the Chelidae family native to South America. The objective was to verify whether the morphology of the shoulder girdle consists of a good classifier for the different known habitats of the analyzed species. To achieve this objective, we worked with linear measurements and proportions of the forelimb structures (autopodium, zeugopodium and stylopodium) and performed a geometric morphometric analysis of the bones of the shoulder girdle (scapula and coracoid). The analyses included 39 species representing 7 families, Chelidae, Podocnemididae, Kinosternidae, Emydidae, Chelidrydae, Cheloniidae and Testudinidae. The species were categorized according to 3 classifiers, 2 ecological (habitat types and subtypes) and 1 taxonomic (families). The centroid sizes of the configurations were used as size variables and the Procrustes residual matrix as shape variables. In order to reduce the dimensionality of the data, a Principal Component Analysis (PCA) was applied to the residual matrix and the largest components were used as shape variables. Then, the groups (classifiers) were compared using the Shapiro-Wilk test, ANOVA (F test) and/or Kruskal-Wallis and Mann-Whitney. Additionally, linear regressions were performed between the size (independent) and shape (dependent) variables to verify whether there is an allometric effect on the structures. Results showed that there is little allometric effect on the shoulder girdle and that terrestrial species, from the Testudinidae family, can be more clearly differentiated from the other groups by shape, while marine species, from the Cheloniidae family, were the ones that most differentiated by size. Testudines with different lifestyle habits present some variations in the morphology of the shoulder girdle compatible with the adaptations of the forelimbs, showing a clear differentiation between

terrestrial and aquatic species (semiaquatic and marine). This suggests that, as demonstrated by recent studies in other bones, the morphological variations observed in the shoulder girdle can be partially explained by the additional functions that the structure develops due to the environment and locomotion. Although the ecological groups presented some differentiation between the species, the classification based on families was the one that rescued a more coherent structure in the morphospace, especially among the subclassifications of semiaquatic types. In summary, the ecological classifiers are efficient in grouping the species, indicating that the habitats (general and specific) have some influence on the morphology of the bones of the shoulder girdle; however, the phylogeny was clearly demonstrated to be a better classifier of the analyzed species, inferring a greater influence of this factor.

Keywords: Testudines; Pleurodira; Geometric morphometrics; Locomotion; Habitats; Appendicular skeleton; Forelimb; Coracoid; Scapula

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
1.1	Grupo de estudo.....	10
1.2	Estruturas morfológicas do esqueleto apendicular.....	12
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	14
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
2.1	Grupos taxonômicos e ecológicos.....	15
2.2	Proporção dos membros anteriores.....	18
2.3	Morfometria geométrica da cintura escapular.....	19
2.3.1	Conceitos.....	19
2.3.2	Amostra.....	20
2.3.3	Marcos anatômicos.....	20
2.3.4	Análises.....	22
2.3.4.1	<i>Shape</i> .....	23
2.3.4.2	Tamanho.....	23
<b>3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
3.1	Proporção do membro anterior.....	24
3.2	Morfometria Geométrica da Cintura Escapular.....	32
3.2.1	Coracoide.....	32
3.2.1.1	Variação do <i>shape</i> do coracoide.....	32
3.2.1.2	Testes sobre o tamanho do coracoide.....	39
3.2.1.3	Teste de alometria.....	42
3.2.2	Escápula.....	43
3.2.2.1	Variação do <i>shape</i> da escápula.....	43
3.2.2.2	Testes sobre o tamanho da escápula.....	54
3.2.2.3	Teste de alometria.....	57
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>58</b>
4.1	Hábitos ecológicos de acordo com as proporções do membro anterior.....	58
4.2	Hábitos ecológicos, padrões filogenéticos e morfometria geométrica a cintura escapular.....	63
4.2.1	Coracoide.....	63

4.2.2	Escápula.....	71
5	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>79</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>81</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Grupo de estudo

A ordem Testudines compreende atualmente 357 espécies conhecidas de tartarugas, cágados e jabutis (Hickman *et al.*, 2016; TTWG, 2021) com ampla distribuição geográfica e habitats diversificados, sendo encontradas em ecossistemas terrestres, dulcícolas e marinhos (Pritchard, 1979; Hickman *et al.*, 2016; TTWG, 2021). O grupo é facilmente reconhecido pela sua morfologia, caracterizado pela presença de um casco ósseo revestido por placas córneas, formado, dorsalmente, pela carapaça e, ventralmente, pelo plastrão (Pritchard, 1979; Pough; Janis; Heiser, 2008). A carapaça é constituída por elementos homólogos às costelas e vértebras dorsais que compõem uma estrutura composta de séries costais e neurais (Gilbert *et al.*, 2001; Lyson *et al.*, 2013; Nagashima *et al.*, 2014). O plastrão é formado por estruturas derivadas das clavículas, interclavículas e gastrália (Gilbert *et al.*, 2001; Lyson *et al.*, 2013; Nagashima *et al.*, 2014). As cinturas são localizadas internamente ao casco, o qual possui aberturas externas para a cabeça, cauda e os membros (Vickaryous; Hall, 2006; Lyson *et al.*, 2013; Nagashima *et al.*, 2013, 2014).

A Ordem ainda é dividida em 2 Subordens: Cryptodira e Pleurodira (TTWG, 2021). Cryptodira apresenta maior riqueza de espécies atuais, as quais são classificadas em 11 famílias viventes de hábitos aquáticos, semiaquáticos e terrestres, e são caracterizados pela capacidade de retração do pescoço em plano vertical internamente ao casco, entre outras sinapomorfias (TTWG, 2021). Pleurodira é composta por 3 famílias viventes de hábito exclusivamente semiaquático, que são encontradas em corpos de água doce no hemisfério sul e apresentam a característica de retraindo o pescoço em plano lateral internamente ao casco, além de outras características (TTWG, 2021).

A América do Sul abriga uma das maiores diversidade de Testudines do mundo (Buhlmann *et al.*, 2009; Mittermeier *et al.*, 2015; Ennen *et al.*, 2020, 2021; TTWG, 2021). Os cágados que ocorrem no continente são encontrados nas famílias Kinosternidae, Emydidae, Geoemydidae, Chelidae e Podocnemididae (TTWG, 2021; Guedes; Entiauspe-Neto; Costa, 2023). Na Subordem Pleurodira, estão as famílias semiaquáticas Chelidae e Podocnemididae (Pough; Janis; Heiser, 2008; Guedes; Entiauspe-Neto; Costa, 2023), dentre as quais, Chelidae é a família com maior riqueza de espécies na região (TTWG, 2021; Guedes; Entiauspe-Neto; Costa, 2023).

Por apresentarem ampla distribuição geográfica e hábitos de vida diversificados (Pritchard, 1979; Ernst; Baubour, 1989; TTWG, 2021), os Testudines têm sido objeto de diversos estudos que buscam esclarecer a relação entre a variação das estruturas morfológicas

com suas ecologias (*e. g.* Walker, 1973; Claude *et al.*, 2003; Joyce; Gauthier, 2004; Depecker *et al.*, 2005; Depecker *et al.*, 2006; Young *et al.*, 2017; Dickson; Pierce, 2019; Xiao *et al.*, 2023; Hermanson *et al.*, 2024). O desenvolvimento de estudos sobre a morfologia das espécies pode favorecer a compreensão acerca da evolução morfológica, taxonomia, relação com seus hábitos ecológicos e, conseqüentemente, sua conservação, e resgate histórico do grupo e seus parentescos.

## **1.2 Estruturas morfológicas do esqueleto apendicular**

O esqueleto apendicular é composto pelas cinturas escapular (ou peitoral) e pélvica, e pelos membros anteriores e posteriores (Kardong, 2016). As cinturas são estruturas responsáveis pela estabilidade e sustentação do corpo e é onde os membros se articulam e por onde se conectam ao esqueleto axial (Kardong, 2016). Os membros são divididos em 3 regiões morfológicas: o estilopódio é a região proximal, constituída por um único elemento, o úmero, no membro anterior, e o fêmur, no membro posterior; o zeugopódio é a região medial, composta por rádio e ulna, no membro anterior, e por tíbia e fíbula, no membro posterior; e, finalmente, o autopódio é a região distal, constituída pelos ossos das mãos e dos pés, que vão desde os punhos e tornozelos até os dígitos (Kardong, 2016).

Nos Testudines, é possível fazer a relação de diferenciação dos autopódios em função dos habitats de vida, podendo ser coluniformes, remiformes ou palmados (Vanzolini; Ramos-Costa; Vitt, 1980; Pough; Janis; Heiser, 2008). As patas colunares dos jabutis, com falanges e garras menores, fornecem estabilidade durante o contato da pata com os diferentes tipos de solo encontrados em terra (Zug, 1971; Ernst; Baubour, 1989; Pough; Janis; Heiser, 2008). As longas nadadeiras das tartarugas marinhas são desprovidas de garras e em forma de remos, elas desempenham funções essenciais para o nado eficiente em amplos ambientes aquáticos volumosos (grande coluna d'água), fornecendo propulsão e direcionamento para o movimento (Zug, 1971; Ernst; Baubour, 1989; Pough; Janis; Heiser, 2008). Os cágados, animais semiaquáticos, tendem a apresentar diferentes afinidades com água e com terra (Ernst; Baubour, 1989; Pough; Janis; Heiser, 2008). Esses animais apresentam patas palmadas, com a presença de membranas interdigitais, que contribuem para seu hábito de vida em ambiente terrestre ou aquático (Zug, 1971; Ernst; Baubour, 1989; Pough; Janis; Heiser, 2008).

De maneira similar, as cinturas também tendem a apresentar diferenciação, visto que realizam diferentes movimentos e funções de acordo com os distintos hábitos de vida dos Testudines (Zug, 1971; Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2005). Em um ambiente terrestre, as cinturas têm função de direcionar e fornecer força, além de estabilizar o corpo e sustentar seu

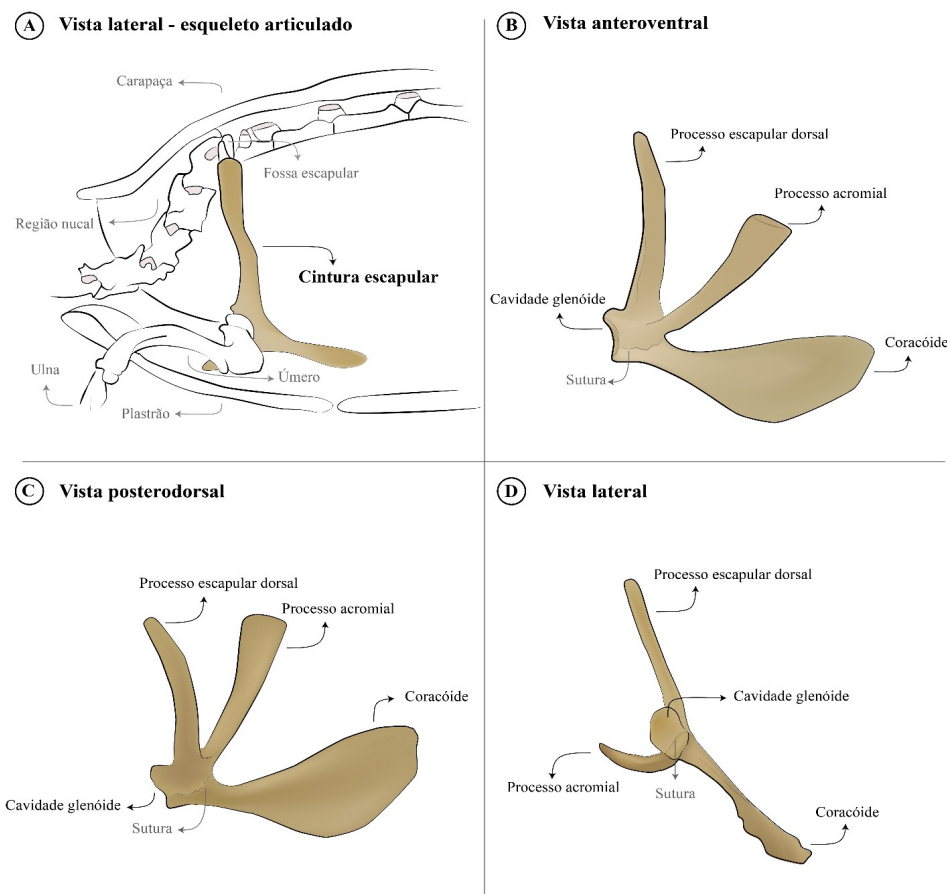
peso, enquanto o animal realiza sua marcha (Zug, 1971; Walker, 1973). Em um ambiente aquático, no qual o corpo é sustentado pela força de empuxo de água, as cinturas conferem direcionamento, força e maior amplitude aos movimentos necessários para o nado eficiente (Zug, 1971; Walker, 1973). A cintura pélvica, responsável por fornecer a maior parte da força usada nos movimentos de marcha terrestre e nado dos animais semiaquáticos (Zug, 1971; Walker, 1973), possui uma quantidade relevante de estudos a cerca da morfologia (*e. g.* Zug, 1969; Zug, 1971; Mayerl *et al.*, 2016). No entanto, a cintura escapular, que por vezes exerce uma função secundária na locomoção, especialmente em espécies terrestres e semiaquáticas, é menos estudada.

As estruturas da cintura escapular têm origem de elementos dérmicos e endoesqueléticos (Kardong, 2016). Nos Testudínes, as clavículas e interclavículas, de origem dérmica, compõem o plastrão, formando os ossos epiplastrões e entoplastrão (Kardong, 2016). A cintura escapular, portanto, é distinta e formada pela escápula e pelo coracoide, que assumem uma conformação trirradiada, na qual três eixos se formam a partir de um ponto central, a cavidade glenoide, onde o úmero se articula (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2005; Nagashima *et al.*, 2013; Kardong, 2016; Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016). A escápula tem a forma de um L, possui um processo escapular dorsal, que se articula verticalmente em uma fossa escapular na carapaça, e um processo acromial, situado anteroventralmente, paralelo ao coracoide (**Figura 1**) (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2005; Nagashima *et al.*, 2013; Kardong, 2016; Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016). O coracoide é um osso que se assemelha morfologicamente a um remo, com a margem medial mais larga que o colarinho, que se liga à escápula na região da cavidade glenoide, e se situa posteroventralmente ao processo acromial (**Figura 1**) (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2005; Nagashima *et al.*, 2013; Kardong, 2016; Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016).

A cintura escapular é sustentada por músculos e se articula em pontos cartilaginosos através do processo escapular dorsal, na carapaça, e do processo acromial no plastrão (**Figura 2**) (Walker, 1973; Kardong, 2016), o que favorece a rotação da cintura (**Figura 2**) durante a movimentação do membro anterior (Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016). Por outro lado, a cintura pélvica é fundida à coluna vertebral em Pleurodira, e é articulada, por meio do ílio, a duas costelas sacrais em Cryptodira (Walker, 1973; Kardong, 2016). A articulação das cinturas ao esqueleto axial está associado ao fato dos membros posteriores serem mais eficientes em fornecer maior força e propulsão para os movimentos, que geralmente são amortecidos pela cintura escapular (Zug, 1971; Ernst; Barbour, 1989; Kardong, 2016), enquanto os membros anteriores oferecem maior contribuição para a sustentação, estabilidade e direcionamento do

corpo durante a locomoção (Zug, 1971; Ernst; Barbour, 1989; Kardong, 2016). O grupo também apresenta uma diferenciação em relação ao posicionamento das cinturas e membros, visto que é o único grupo dentro de Vertebrata com o esqueleto apendicular parcialmente internalizado à caixa torácica (**Figura 2**) (Ernst; Barbour, 1989; Pough, 2008), o que ao mesmo tempo confere proteção e limita a movimentação em solo (Ernst; Barbour, 1989).

**Figura 1** – Representação da cintura escapular esquerda da *Apalone mutica*, tartaruga semiaquática dulcícola, em (A) vista lateral articulada ao esqueleto axial e ao membro anterior; (B) vista anteroventral; (C) vista posterodorsal; e, (D) vista lateral desarticulada.

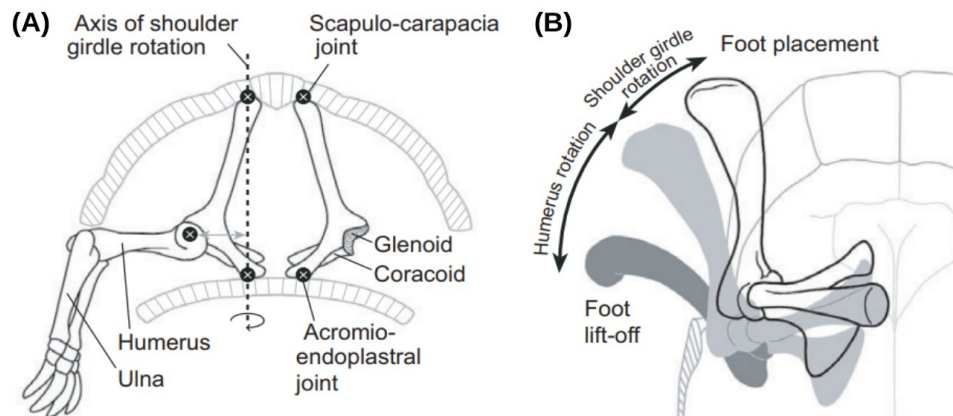


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Além da variação na morfologia óssea por influência filogenética (*e. g.* Claude *et al.*, 2003; Depecker *et al.*, 2005; Werneburg *et al.*, 2015; Young; Baeza; Blob, 2019; Hermanson *et al.*, 2022), as estruturas básicas do esqueleto apendicular estão sujeitas a sofrer modificações morfológicas em função das demandas funcionais do ambiente em que se encontra (*e. g.* Depecker *et al.*, 2005, 2006; Dickson; Pierce, 2019; Dudgeon *et al.*, 2021). No entanto, apesar da grande capacidade de inferência de informações a partir do estudo da morfologia dessas estruturas ósseas, os Testudines semiaquáticos sul-americanos, com grande

riqueza em número e diversidade de espécies, são insuficientemente amostrados nos trabalhos já realizados (*e. g.* Walker, 1971; Van Leeuwen; Jayes; Alexander, 1981; Depecker *et al.*, 2006; Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016), evidenciando a necessidade de mais estudos que contemplem essa lacuna.

**Figura 2** – Representação da parte anterior do esqueleto apendicular de um Testudine de hábito terrestre. **(A)** Corte transversal esquemático do corpo em vista anterior. Ilustra os pontos de fixação da cintura escapular na carapaça (Scapulo-carapacia joint) e plastrão (Acromio-endoplastral joint), a articulação com o membro anterior e o eixo de rotação da cintura escapular (Axis of shoulder girdle rotation). **(B)** Vista dorsal da cintura escapular. Ilustra a contribuição espacial da rotação da cintura escapular (Shoulder girdle rotation) para o arco horizontal total do úmero, do impacto no solo (Foot placement) ao levantamento da pata (Foot lift-off) durante os passos.



Fonte: Schmidt, Mehlhorn & Fischer (2016).

### 1.3 Objetivos

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Responder a pergunta de interesse:

- Cágados sul-americanos com diferentes hábitos de vida apresentam variações na morfologia da cintura escapular compatíveis com as especializações para locomoção dos membros anteriores?

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Responder as perguntas específicas:

- Os membros anteriores de Pleurodira exibem a mesma relação com os hábitos ecológicos observada em Cryptodira?
- Existe diferença de tamanho das cinturas escapulares?
- Há efeito alométrico na morfologia da cintura escapular?
- A variação morfológica na cintura escapular dos Testudines está associada aos diferentes hábitos de vida?

- A variação morfológica na cintura escapular dos Testudines está associada aos diferentes subtipos de hábitos semiaquáticos?
- Há variação morfológica na cintura escapular dos Testudines que pode ser associada a filogenia?

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Grupos taxonômicos e ecológicos

A amostra é composta por 122 espécimes de Testudines (**Apêndice A**) que foram classificados em 3 grupos para as análises estatísticas, 1 taxonômico e 2 ecológicos. A classificação taxonômica se baseia na distinção das famílias, sendo Chelidae e Podocnemididae, da subordem Pleurodira, e Emydidae, Kinosternidae, Chelydridae, Testudinidae e Cheloniidae, da subordem Cryptodira (**Tabela 1**). A classificação de acordo com as famílias visa verificar se existem diferenças relevantes na forma da cintura escapular entre os clados tendo em vista que estes grupos podem ser diferenciados com clareza com base na forma de carapaça, plastrão, úmero e crânio (Claude *et al.*, 2003; Depecker *et al.*, 2005; Young; Baeza; Blob, 2019; Hermanson *et al.*, 2022). A amostra também foi classificada seguindo a proposta de Xiao *et al.* (2023) (**Tabela 2**). Dentro da classificação estabelecida, os espécimes podem ser alocadas em 4 tipos básicos de habitat, sendo eles: marinho ou totalmente aquático, dulcícola ou semiaquático, terrestre insular e terrestre continental. Uma segunda classificação ecológica subdivide oito tipos específicos de uso de habitat dulcícola e terrestre continental, havendo 5 subtipos dentro do tipo dulcícola – grande corpo d'água com água corrente, grande corpo d'água com água parada, pequeno corpo d'água com água corrente, pequeno corpo d'água com água parada, e todos os corpos d'água – e 3 subtipos dentro do tipo terrestre continental – deserto, terras planas e montanhas. Portanto, o segundo nível de classificação de tipos de habitat (*sensu* Xiao *et al.*, 2023) compreende 10 categorias distintas. Contudo, a amostra estudada neste trabalho não inclui indivíduos terrestres insulares, bem como dos subtipos de hábito terrestre continental deserto e montanhas.

**Tabela 1** – Descrição dos exemplares analisados de acordo com a Subordem.

	<b>Pleurodira</b>	<b>Cryptodira</b>	<b>Total</b>
<b>Espécies</b>	28	11	39
<b>Espécimes</b>	84	38	122
<b>Famílias</b>	2	5	7

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 2** – Classificação e descrição de grupo ecológico a partir do tipo de hábito e subtipo de hábito.

<b>Tipo de habitat</b>	<b>Subtipo de habitat</b>	<b>Descrição</b>
Marinhas ou totalmente aquático	(Marinhas ou totalmente aquático)	Espécies marinhas
	Grande corpo d'água com água corrente	Corpos d'água com uma grande área e água de fluxo rápido, como grandes rios e partes superiores de grandes rios
Dulcícolas ou semiaquáticas	Grande corpo d'água com água parada	Corpos d'água com uma grande área e água parada ou de fluxo lento, como lagoas e reservatórios
	Pequeno corpo d'água com água corrente	Corpos d'água com uma área pequena e água de fluxo rápido, como riachos de montanha
	Pequeno corpo d'água com água parada	Corpos d'água com uma área pequena e água parada ou de fluxo lento, como lagos e brejos
	Todos os corpos d'água	Todos os corpos de água doce
Terrestres insulares	(Terrestres insular)	Espécies terrestres em ilhas oceânicas
	Deserto	Áreas extremamente áridas, como áreas desérticas com seca e habitats de deserto rochoso
Terrestre continental	Terras planas	Áreas com terreno plano, como pastagens, áreas florestais planas e arbustos
	Montanha	Áreas com terreno íngreme, como florestas em um terreno montanhoso e habitats de arbustos

**Fonte:** Xiao *et al.* (2023).

O grupo ecológico “tipos de *habitat*” apresenta uma designação geral do hábito de vida das espécies. Os termos “terrestre”, “semiaquático” e “aquático” foram usados por Walker (1973) categorizando os Testudines de acordo com a habilidade de viver em um determinado ambiente (terrestre e/ou aquático), mesmo que todas elas tenham a capacidade de transitar entre os meios quando necessário. Esses termos já foram usados em estudos que buscam compreender a relação entre variações morfológicas e fatores ecológicos (*e. g.* Benson *et al.*, 2011), oferecendo uma perspectiva abrangente dos grandes grupos. Outros estudos buscaram refinar a classificação levando em conta os fatores abióticos e características físicas dos meios (*e. g.* Joyce; Gauthier, 2004; Depecker *et al.*, 2006; Jaffe; Slater; Alfaro, 2011; Angielczyk; Burroughs; Feldman, 2015; Xiao *et al.*, 2023), que poderiam representar melhor a diversidade de *habitats* existentes (Xiao *et al.*, 2023). Diante

disso, o grupo ecológico “subtipo de *habitat*” apresenta uma designação mais específica da hábito de vida das espécies, levando em conta algumas condições ambientais.

A família Cheloniidae é representada na amostra por *Chelonia mydas* e *Caretta caretta*, espécies totalmente aquáticas típicas de ambientes marinhos (Prichard, 1979; Ernst; Barbour, 1989; Xiao *et al.*, 2023); logo, o grupo taxonômico “Cheloniidae” e o grupo ecológico “Marinha” são iguais. O mesmo acontece com a família Testudinidae, representada na amostra pelas espécies *Chelonoidis denticulatus* e *Chelonoidis carbonarius*, tipicamente terrestres (Prichard, 1979; Ernst; Barbour, 1989) de terrenos planos (Xiao *et al.*, 2023); portanto, o grupo taxonômico “Testudinidae” e os grupos ecológicos “Terrestre” e “Terras planas” apresentam a mesma composição. Em função da sobreposição de indivíduos dentro de alguns classificadores, a variação observada nos grupos ecológicos e taxonômicos coincide em alguns pontos.

As estruturas do membro anterior – estilopódio (úmero), zeugopódio (ulna) e autopódio (mão) – e da cintura escapular – escápula e coracoide – foram analisadas a partir da disponibilidade dos espécimes. Desse modo, o número de espécimes na análise de cada estrutura é variável (**Tabela 3; Apêndice A**). Os 122 exemplares que compõem a amostra total correspondem a 39 espécies, das quais 20 ainda não haviam sido categorizadas de acordo com a classificação de habitat proposta por Xiao *et al.* (2023). Para essas espécies, realizamos a classificação (ecológica e taxonômica) com base na literatura (**Apêndice A**). Entre os indivíduos estudados, 35 espécies (103 espécimes) são cágados, que possuem hábito semiaquático. Desses, 28 espécies (84 espécimes) pertencem a Subordem Pleurodira (**Tabela 1**) e 21 espécies (61 espécimes) fazem parte da família Chelidae, que, portanto, representa grupo predominante dentro da amostra de trabalho.

**Tabela 3** – Descrição sumarizada dos exemplares analisados.

	Membro Anterior			Cintura Escapular	
	Parcial	Completo	Total	Escápula	Coracoide
<b>Espécies</b>	28	22	39	32	29
<b>N amostral (Espécimes)</b>	53	53	106	69	71
<b>Tipo de habitat (Classificador 1)</b>	3	2	3	3	3
<b>Subtipo de habitat (Classificador 2)</b>	7	6	7	7	7
<b>Família (Classificador 3)</b>	7	5	7	7	7

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 2.2 Proporção dos membros anteriores

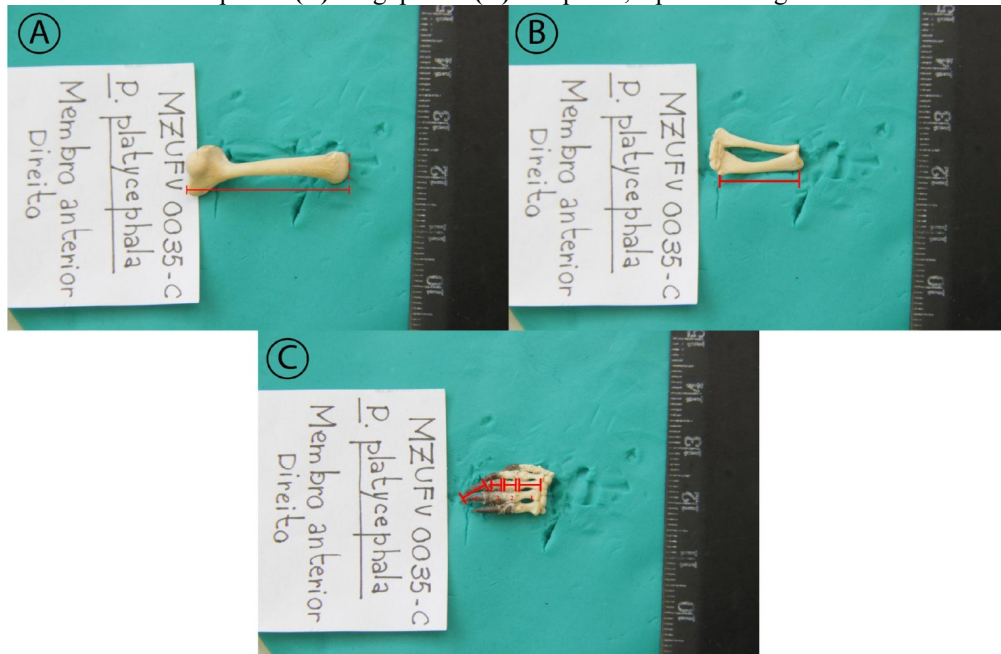
Foram medidos os membros anteriores de 106 espécimes pertencentes a 39 espécies (**Tabela 3; Apêndice A**). Desses, 53 espécimes apresentam a medida completa do membro e 53 apresentam a medida parcial (**Tabela 3**). Entre os indivíduos que possuem as medidas completas, se encontram 22 espécies de hábito semiaquáticos e terrestres, pertencentes a 5 famílias: Chelidae, Emydidae, Podocnemididae, Kinosternidae e Testudinidae. Os indivíduos que possuem as medidas parciais do membro anterior pertencem a 28 espécies e apresentam, adicionalmente aos habitats e famílias presentes na amostra parcial, espécies de habitat marinho e espécies pertencentes as famílias Chelydridae e Cheloniidae. A amostra também foi classificada de acordo com os grupos ecológicos proposto por Xiao *et al.* (2023), sendo alocadas em 3 tipos de habitats gerais, marinho (ou totalmente aquático), dulcícola (ou semiaquático) e terrestre continental, e em 8 subtipos de habitat específicos, conforme descrito na **seção 2.1**.

Para a medição do estilopódio, zeugopódio e autopódio, adaptamos o protocolo de medidas de Joyce & Gauthier (2004). Para o comprimento do estilopódio, utilizamos a medida do processo anterior medial até a superfície articular distal (**Figura 3 (A)**). O comprimento da zeugopódio foi obtido por meio da medida da margem lateral (**Figura 3 (B)**). O comprimento da autopódio foi dado pela soma do metacarpo III, da falange proximal, medial e distal do dígito III (**Figura 3 (C)**). As medidas foram feitas com o auxílio do programa ImageJ 1.46r (Rasband, 1997), que possibilitou o estudo de espécimes de variadas coleções por meio de registros fotográficos.

As medidas em milímetros (mm) foram obtidas pelas médias independentes de três medidas de cada estrutura (estilopódio, zeugopódio, autopódio). Os valores médio (mm), a somatória (mm) e as proporções (%) das estruturas, juntamente aos grupos ecológicos (hábito de vida) e taxonômicos (famílias), foram salvos em um arquivo DAT usando o programa PAST v.5 (Hammer *et al.*, 2001). As análises e testes estatísticos subsequentes foram feitos a partir desta matriz de dados.

Reproduzimos a abordagem de Joyce & Gauthier (2004), incluindo os valores (mm) do estilopódio, zeugopódio e autopódio de 39 espécies e 106 espécimes a matriz original do gráfico ternário. Esta abordagem permite observar a distribuição dos grupos no espaço de forma sumarizado por estas três medidas, relacionando-os com a proporção dos membros. Essa etapa da metodologia especificamente foi realizada no PAST v.4.09 (Hammer *et al.*, 2001), visto que a versão mais recente (v.5) apresentou falhas na exportação do gráfico em formato SVG.

**Figura 3** – Membro anterior direito de *Platemys platycephala* (MZUFV0035-C), tartaruga semiaquática dulcícola, descrevendo as medidas adotadas de acordo com o protocolo de Joyce & Gauthier (2006). (A) estilopódio. (B) zeugopódio. (C) autopódio, a partir do dígito III.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente, fizemos o teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) a partir das medidas (mm) das estruturas do membro anterior a fim de averiguar se a distribuição desses dados é normal. Essa informação é importante para determinar quais testes são os mais estatisticamente adequados nas próximas etapas. Fizemos um teste de correlação (Spearman's  $r_s$  – teste não paramétrico – com correção de Bonferroni para o valor de  $p$ ) junto de gráficos de dispersão par a par, os quais possibilitaram visualizar a correlação entre os tamanhos (mm) de estilopódio, zeugopódio e autopódio dos grupos. Ainda, realizamos um teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a fim de verificar se existem diferenças significativas entre as medianas dos grupos (ecológicos e taxonômicos). O teste de *post-hoc* de Mann-Whitney em pares (com a função de correção de Bonferroni para o valor de  $p$ ) foi feito para os grupos ecológicos e taxonômicos, a partir das medidas (mm) de mão, ulna e úmero dos espécimes, com o objetivo de diagnosticar quais pares de grupos apresentam diferenças significativas.

## 2.3 Morfometria geométrica da cintura escapular

### 2.3.1 Conceitos

A equação da relação entre as variáveis na morfometria geométrica é descrita da seguinte maneira:  $Size + Shape = Form$ . De acordo com Dryden & Mardia (1998), *shape* é a propriedade geométrica de um objeto que permanece quando são removidos efeito de tamanho, posicionamento e rotação. Em função do entendimento ambíguo da palavra “forma”

nesse contexto, que pode ser erroneamente associado de forma análoga ao termo “*form*”, optamos pelo uso padronizado do termo “*shape*”.

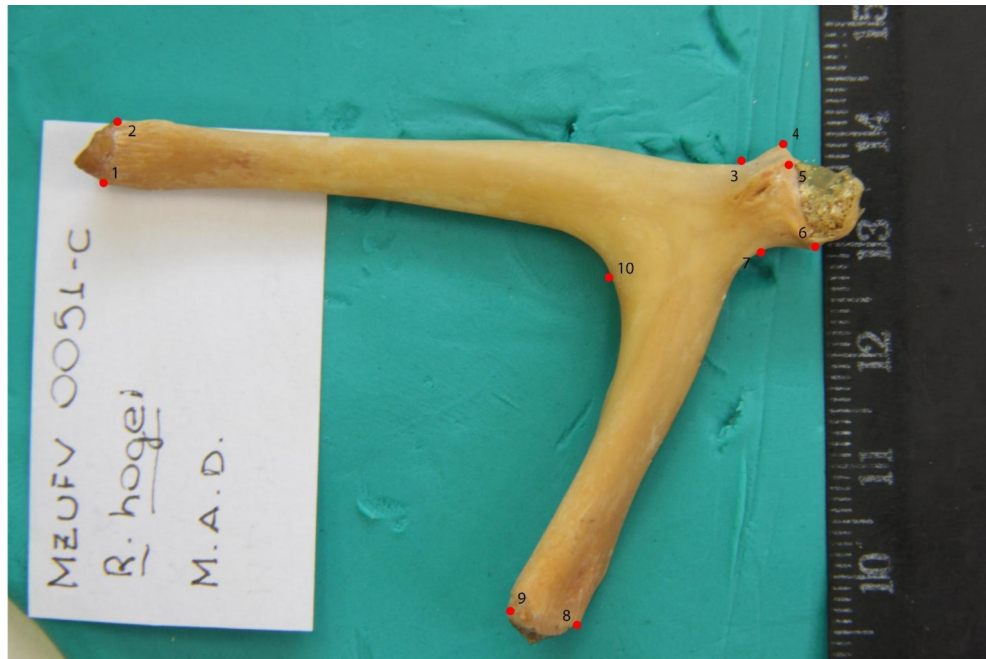
### 2.3.2 Amostra

Foram usados 78 espécimes (**Apêndice A**) de 33 espécies de Testudines de 7 famílias – Chelidae, Emydidae, Podocnemididae, Kinosternidae, Chelydridae Cheloniidae e Testudinidae – e 3 hábitos de vida – semiaquático, marinho e terrestre (**Tabela 3**). A maior parte da amostra é constituída de cágados de hábito semiaquáticos da subordem Pleurodira, família Chelidae (**Tabela 1**). Dentro da amostra, foram selecionados 69 escápulas esquerdas e 71 coracoides direitos. Os lados de cada estrutura foram determinados de acordo com a quantidade de material íntegro para uso sem comprometer a análise morfométrica. Os materiais foram fotografados de acordo com um protocolo de fotos previamente estabelecido (**Apêndice B**) e passaram por uma etapa de teste de erro do posicionamento do material e digitalização dos marcos anatômicos (**Apêndice C**).

### 2.3.3 Marcos anatômicos

Foram determinados 10 marcos anatômicos para a escápula (**Figura 4; Tabela 4**) e 8 para o coracoide (**Figura 5; Tabela 5**), adaptados de Depecker *et al.* (2006). A adaptação foi adotada com o objetivo de adequar os marcos, que foram definidos para análise em 3 dimensões da cintura escapular articulada, ao uso da escápula e coracoide como estruturas isoladas em uma análise em 2 dimensões. Diante disso, os marcos anatômicos foram renumerados para a escápula e para o coracoide separadamente. Ainda, marcos anatômicos foram adicionados (nº 4 na escápula e nº 2 no coracoide) e excluídos (nº 3 do trabalho de Depecker *et al.* (2006)). Os marcos anatômicos foram digitalizados por meio do programa TpsDig2w64 v2.32 (Rohlf, 2015), as coordenadas dos marcos anatômicos passaram pela superimposição de Procrustes (Rohlf & Slice, 1990) por quadrados mínimos (GLS) no programa TpsRwl64 v1.75 (Rohlf, 2015), e, posteriormente, foram analisadas no programa PAST v.5 (Hammer *et al.*, 2001).

**Figura 4** – Marcos anatômicos da vista posterior na escápula direita em *Ranacephala hogei*, tartaruga semiaquática dulcícolas.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 4** – Marcos anatômicos da escápula.

Nº	Descrição
1	Ângulo dorsal medial do processo escapular.
2	Ângulo dorsal lateral do processo escapular.
3	Base do processo escapular (curvatura máxima).
4	Extremidade anterior da cavidade glenoide.
5	Borda dorsal da cavidade glenoide (1/2 da altura total).
6	Limite entre o coracoide e o processo acromial (curvatura máxima).
7	Base do processo acromial (curvatura máxima).
8	Ângulo posterior medial do processo acromial.
9	Ângulo anterior medial do processo acromial.
10	Limite entre a escápula e o processo acromial (curvatura máxima).

**Fonte:** Adaptado de Depecker *et al.* (2006).

**Figura 5** – Marcos anatômicos da vista dorsal no coracoide direito em *Ranacephala hogei*, tartaruga semiaquática dulcícolas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 5** – Marcos anatômicos do coracoide.

Nº	Descrição
1	Ângulo anterior medial do coracoide.
2	Ângulo posterior medial do coracoide.
3	Borda posterior do coracoide (curvatura máxima).
4	Borda posterior do coracoide (colarinho do coracoide).
5	Extremidade posterior da cavidade glenoide.
6	Borda dorsal da cavidade glenoide (1/2 da altura total).
7	Limite entre o coracoide e o processo acromial (curvatura máxima).
8	Borda anterior do coracoide (colarinho do coracoide).

Fonte: Adaptado de Depecker *et al.* (2006).

#### 2.3.4 Análises

Primeiramente, fizemos uma Análise de Componentes Principais (PCA), análise exploratória que permite visualizar a variação multidimensional entre os grupos em um morfoespaço. Além disso, a PCA reduz a dimensionalidade dos dados e fornece os valores de Componentes Principais (PCs) significativos, que podem ser usados como Proxy das variáveis de *shape*. Ainda, a partir do PCA, fizemos as grades de deformação dos menores e maiores escores dos PCs significativos, permitindo a visualizar como ocorre a variação em cada elemento.

Para avaliar se há efeito de tamanho no *shape* das estruturas (coracoide e escápula), isto é, verificar se há alometria, foram realizadas regressões lineares simples. As regressões

foram feitas a partir dos PCs que retêm mais variância e que estejam acima do modelo Broken-Stick de Jackson (1993). Os escores dos PCs foram tratadas como variável de *shape* (variável dependente), e o logaritmo do tamanho do centroide (LogCS), como variável de tamanho (variável independente). A correlação (ou não) entre as variáveis dependentes (PC1) e independente (LogCS) foi verificada por meio do teste de Pearson  $r$ . No teste, o coeficiente de correlação ( $r$ ), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o valor de  $p$  são calculados. Dentre as variáveis, a mais relevante é a  $R^2$ , que expressa a qualidade do modelo, indicando o quanto o modelo (variável independente) explica a variabilidade da variável dependente (PC1) assumindo um modelo linear.

#### 2.3.4.1 *Shape*

Foram utilizados os escores individuais dos PCs acima do Broken-Stick como *proxy* de *shape* nas análises descritivas e nos testes quantitativos feitos para estudo da variação de *shape* das estruturas da cintura escapular.

Adotamos a realização de testes de normalidade de Shapiro-Wilk para cada conjunto de dados (escores de PCs e grupos ecológicos e taxonômico) com o objetivo de testar se há distribuição normal e direcionar quais testes a seguir são mais adequados em cada caso.

A partir disso, utilizando a variável de *shape* e os classificadores ecológicos (tipo e subtipo de hábito) e taxonômicos (famílias), foram empregados a ANOVA (teste F) (teste paramétrico) ou o teste de Kruskal-Wallis (não paramétrico), a fim de examinar se a variação entre os grupos são significativamente diferentes. Os testes paramétricos ou não paramétricos tem por objetivo avaliar se deve-se rejeitar ou não a hipótese nula ( $H_0$ ) de que não há diferença na variação entre os grupos. Quando  $p > 0,05$ , não se rejeita a  $H_0$  e, no caso contrário, em que  $p < 0,05$ , se rejeita a  $H_0$ .

Nos casos em que se rejeita a  $H_0$ , ou seja, quando há um diagnostico de diferenças significativas na variação entre os grupos, faz-se um teste *post-hoc* para averiguar entre quais grupos as diferenças são mais significativas. Para todos os casos, foi escolhido o teste de *post-hoc* não paramétrico de Mann-Whitney, o qual foi aplicado sobre os classificadores em uma análise par a par. A correção de Bonferroni para o valor de  $p$  foi aplicada na análise.

#### 2.3.4.2 *Tamanho*

A metodologia adotada para estudo do *shape* foi replicada para estudo do tamanho. Foram executados o teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) para todos os grupos, seguidos da ANOVA (teste F) (testes paramétrico) ou do teste de Kruskal-Wallis (não paramétricos) e, por

fim, o teste não paramétrico de Mann-Whitney (*post-hoc*). Além disso, foi realizado o *box-plot* dos grupos taxonômicos e ecológicos como ferramenta descritiva para visualizar a diferença das medianas como variação nos (I) tipo de hábito, (II) subtipo de hábito e (III) famílias. O *box-plot* é um gráfico de distribuição dos dados com base na mediana, permitindo visualizar a dispersão e possíveis *outliers*.

Os testes e análises dos tamanhos das estruturas (coracoide e escápula) baseados nos grupos taxonômicos e ecológicos foram feitos a partir das variáveis do tamanho de centroide (*centroid size* (CS)).

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Proporção do membro anterior

Dentre os 106 indivíduos que foram medidos, 52 apresentaram o membro anterior completo (total (mm)) para as análises das proporções (%) (**Tabela 6**). Em função da menor amostra (N) e da natureza dos dados (%), observa-se pouca variância nos valores de proporção das estruturas do membro (**Tabela 6**). Com relação à variância das medidas originais (mm) de autopódio, zeugopódio, estilopódio e total, observa-se que a variância é alta (**Tabela 6**). Ainda, destaca-se que as medidas do estilopódio apresentam variância consideravelmente maior em relação às demais estruturas do membro anterior.

Entre as medidas (mm) das espécies aquáticas, semiaquáticas e terrestres, observa-se menor e maior comprimento de autopódio (autopódio), respectivamente, nas espécies *Chelonoidis carbonarius* (Spix, 1824) (MZUSP4129), de hábito terrestre, e *Chelonia mydas* (Linnaeus, 1758) (MZUFV0068), de hábito marinho. A espécie com menor comprimento (mm) de zeugopódio e estilopódio é a espécie semiaquática *Phrynops geoffroanus* (Schweigger, 1812) (MZUSP3321). O maior comprimento (mm) de zeugopódio é referente à espécie terrestre *Chelonoidis denticulatus* (Linnaeus, 1766) (MZUFV0144) e, de estilopódio, à marinha *Caretta caretta* (Linnaeus, 1758) (MZUSP3223) (**Tabela 6**).

Na medida total (mm) e nas proporções (%), foram analisados indivíduos semiaquáticos e terrestres, visto que foram os únicos que apresentaram o membro anterior completo. Desses, a espécie terrestre *Chelonoidis carbonarius* (MZUFV0110) apresentou menor proporção da autopódio e maior proporção da zeugopódio. A espécie semiaquática *Phrynops geoffroanus* (MZUSP3321) apresentou menor comprimento total e menor proporção da zeugopódio. *Podocnemis sextuberculata* (Cornalia, 1849) (INPA21932), semiaquática, apresentou menor proporção de estilopódio. E, os semiaquáticos, de subtipos de hábitos diversificados, apresentaram maior comprimento total e maior proporção de

estilopódio e autopódio foram, respectivamente: *Peltocephalus dumerilianus* (Schweigger, 1812) (MZUS3216), *Trachemys dorbigni* (Duméril e Bibron 1835) (MZUSP3330) e *Ranacephala hogei* (Mertens 1967a) (MZUSP0037) (**Tabela 6**).

**Tabela 6** – Estatística descritiva dos membros anteriores, com base em medidas (mm) individuais e totais, proporções (%). Auto.: autopódio; Zeugo.: zeugopódio; Estilo.: estilopódio.

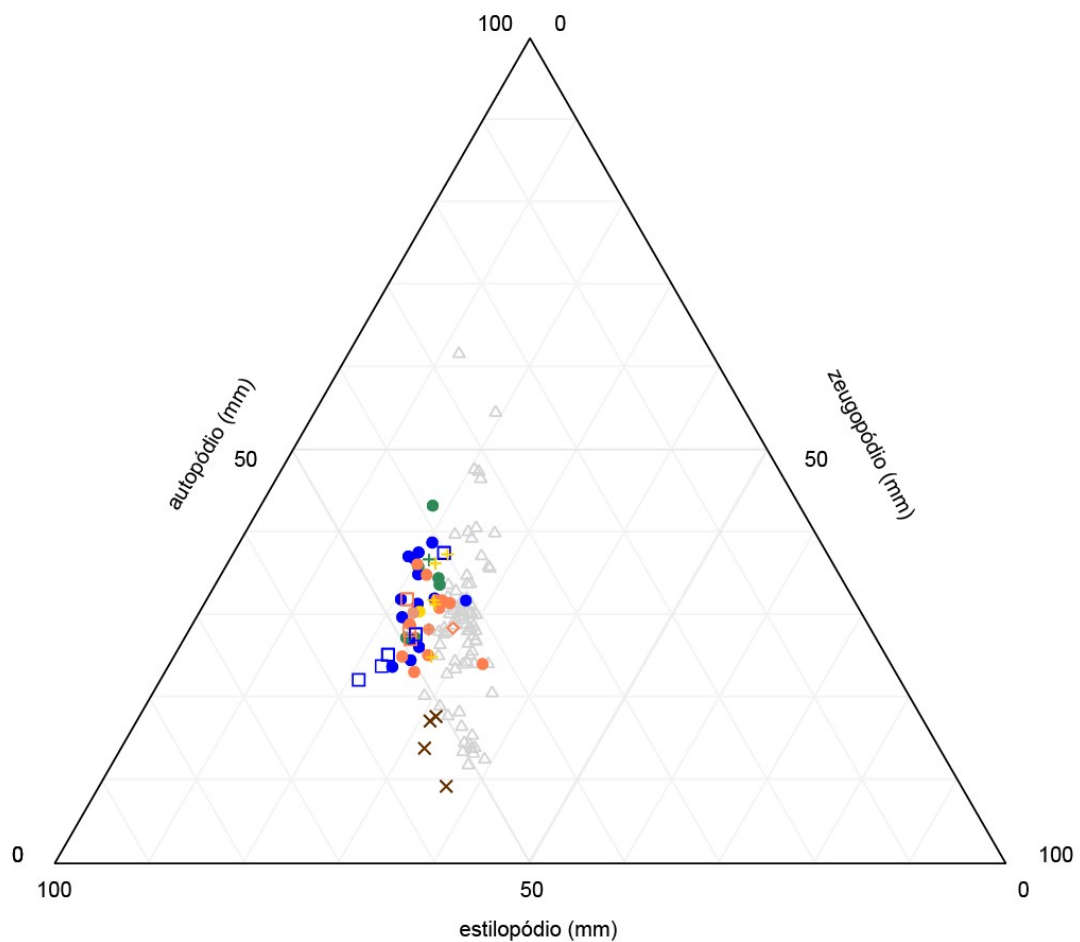
	Comprimento (mm)				Proporção (%)		
	Auto.	Zeugo.	Estilo.	Total	Auto.	Zeugo.	Estilo.
<b>N</b>	57	91	102	52	52	52	52
<b>Mínimo</b>	7,33	6,62	16,44	36,49	9,3	18,14	40,87
<b>Máximo</b>	113,25	65,92	230,72	172,42	47,02	35,81	54,89
<b>Soma</b>	1576,49	1891,95	4712,37	4487,77	1533,19	1217,47	2443,38
<b>Média</b>	27,66	20,79	46,2	86,3	29,48	23,41	46,99
<b>Erro padrão</b>	2,23	1,01	3,08	4,62	0,93	0,5	0,51
<b>Variância</b>	282,34	92,35	966,81	1107,99	44,54	12,98	13,63
<b>Desvio padrão</b>	16,8	9,61	31,09	33,29	6,67	3,6	3,69
<b>Mediana</b>	24,3	18,7	37,92	76,61	30,44	22,93	46,04
<b>Percentil 25</b>	17,88	14,3	29,21	62,35	25,28	21,11	44,22
<b>Percentil 75</b>	32,89	23,68	54,02	109,84	34,5	24,59	49,39
<b>Assimetria</b>	2,65	1,86	4,15	0,86	-0,54	1,37	0,43
<b>Curtose</b>	11,18	5,02	22,19	0,2	1,38	2,33	-0,68
<b>Média geométrica</b>	24,08	19,07	40,82	80,5	28,57	23,17	46,85
<b>Coefficiente de variação</b>	60,75	46,22	67,3	38,57	22,63	15,39	7,86

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico ternário (**Figura 6**) é possível visualizar a distribuição dos espécimes de acordo com o comprimento (mm) do estilopódio, zeugopódio e autopódio. Na plotagem com os indivíduos semiaquáticos dulcícolas, dos diferentes subtipos de hábitos e famílias, pode-se observar a concentração sobreposta dos espécimes no gráfico na região central. Quando se observa a amostra junto de espécimes marinhos e terrestres, o gradiente de espécies com maior afinidade com a água é formado da base em direção topo do gráfico. Os dados de Joyce & Gauthier (2004) foram adicionadas às medidas de comprimento (mm) obtidas da amostra

original do trabalho, facilitando visualizar a relação dos resultados obtidos em Pleurodira e Cryptodira.

**Figura 6** – Gráfico ternário das medidas (mm) das estruturas dos membros anteriores. Espécimes com medidas completas adicionadas às medidas de Joyce & Gauthier (2006) (triângulos abertos em cinza). As cores indicam os hábitos de vida: verde – grandes corpos d’água com água corrente; azul – grandes corpos d’água com água; amarelo – todos os corpos d’água; laranja – pequenos corpos d’água com água parada; marrom: terras planas. Os símbolos indicam as famílias: círculo: Chelidae; quadrado: Emydidae; cruz: Podocnemididae; xis: Testudinidae; losango: Kinosternidae.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) feito com as medidas (mm) das estruturas do membro anterior confirmou a distribuição não normal desses dados (**Tabela 7**). O autopódio, o zeugopódio e o estilopódio apresentam  $p < 0,001$ , indicando que a distribuição é significativamente não normal. A partir desse resultado, depreende-se que o mais adequado é a utilização de testes não paramétricos para as análises seguintes a partir do comprimento (parcial ou total) do membro anterior.

**Tabela 7** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk das medidas (mm) das estruturas do membro anterior. (\*) Valores de p significativos.

	<b>Autopódio</b>	<b>Zeugopódio</b>	<b>Estilopódio</b>	<b>Comprimento total</b>
<b>N</b>	57	91	102	52
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,78	0,85	0,6	0,93
<b>p (normal)</b>	$9,67 \times 10^{-08} *$	$3,14 \times 10^{-08} *$	$3,62 \times 10^{-15} *$	0,003954*

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A análise de correlação, a partir do teste de Spearman's *rs* (com correção de Bonferroni para os valores de p) (**Tabela 8**), indicou correlação entre o comprimento de todas as estruturas, sendo que a maior correlação observada é entre o estilopódio e a zeugopódio ( $p=0,92697$ ). O gráfico de correlação (**Figura 7(A)**) ajuda a visualizar os resultados, apresentando círculos em escala de tamanho e cor de acordo com a proporção da correlação entre os comprimentos das estruturas. A relação estabelecida entre os comprimentos (mm) do estilopódio, zeugopódio e autopódio em pares, é ilustrada nas dispersões par a par (**Figura 7 (B-D)**), onde observa-se maior conformidade na relação estilopódio *versus* zeugopódio entre as espécies de diferentes habitats e famílias.

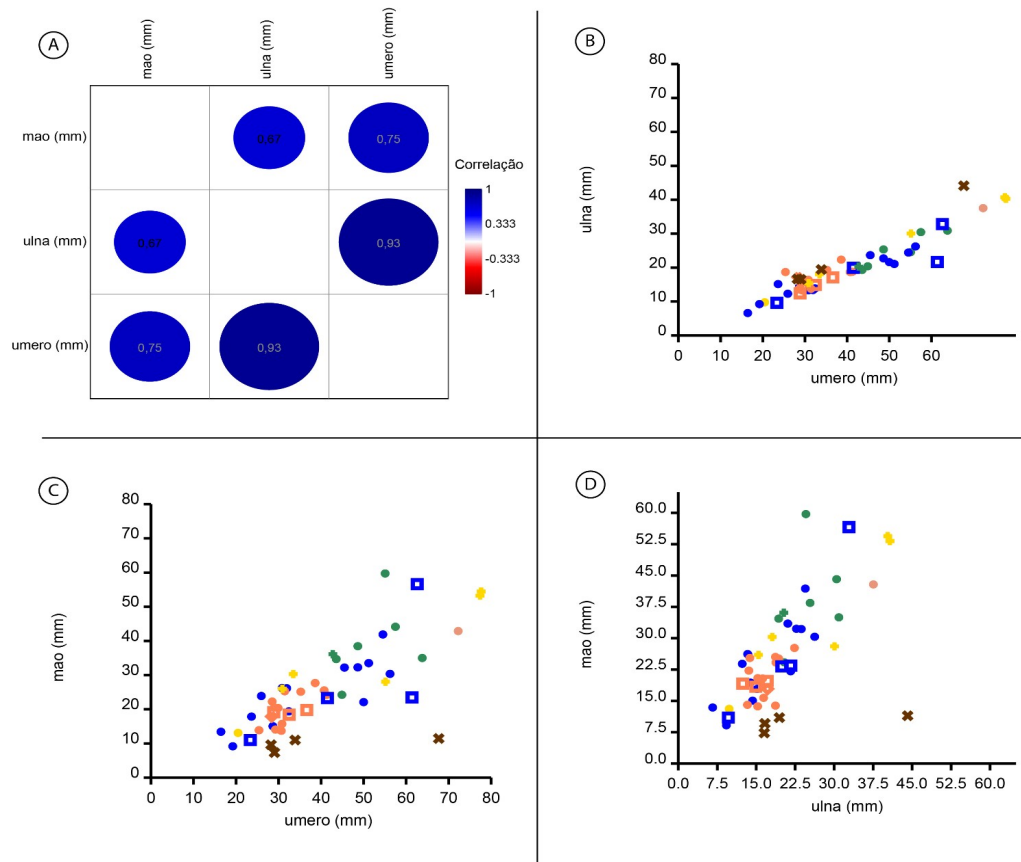
**Tabela 8** – Resultado do teste de correlação (Spearman's *rs*) das estruturas do membro anterior a partir de suas medidas (mm). Na parte inferior da matriz, são fornecidos os valores de correlação, e, na parte superior, as probabilidades bicaudais de que as colunas não estejam correlacionadas. (\*) Valores de p significativos.

	<b>Autopódio</b>	<b>Zeugopódio</b>	<b>Estilopódio</b>
<b>Autopódio</b>		$7,8359 \times 10^{-08} *$	$2,3372 \times 10^{-10} *$
<b>Zeugopódio</b>	0,66747		$6,6516 \times 10^{-38} *$
<b>Estilopódio</b>	0,74833	0,92697	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis aplicados aos grupos ecológicos e taxonômicos a partir das medidas das estruturas do membro anterior indicaram p significativos (**Tabela 9**). Logo, por rejeitar a hipótese-nula, pode-se dizer que há diferença entre os grupos taxonômicos e ecológicos.

**Figura 7** – (A) Correlação das estruturas do membro anterior a partir de suas medidas (mm). (B-C) Gráficos de dispersão em pares a partir das medidas (mm) de estilopódio, zeugopódio e autopódio dos espécimes com medidas completas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 9** – Teste de Kruskal-Wallis para os grupos ecológicos e taxonômicos nas medidas (mm) do membro anterior. (\*) Valores de p significativos.

Estrutura	Grupos	H (Qui-Quadrado)	H <sub>c</sub> (empate corrigido)	p
	<b>Tipo de hábito</b>	12,67	12,67	0,001774 *
<b>Autopódio</b>	<b>Subtipo de hábito</b>	27,74	27,74	0,0001052 *
	<b>Família</b>	21,7	21,7	0,0005976 *
	<b>Tipo de hábito</b>	9,775	9,775	0,007541 *
<b>Zeugopódio</b>	<b>Subtipo de hábito</b>	29,79	29,79	0,0000431 *
	<b>Família</b>	24	24	0,0005226 *
	<b>Tipo de hábito</b>	14,44	14,44	0,0007319 *
<b>Estilopódio</b>	<b>Subtipo de hábito</b>	30,65	30,65	0,00002961 *
	<b>Família</b>	32,44	32,44	0,00003361 *

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste *post-hoc* de Mann-Whitney em pares, com a função de correção de Bonferroni para o valor de p, foram feitos para os grupos tipos de hábito, subtipo de hábito e família, a partir das medidas (mm) de autopódio, zeugopódio e estilopódio dos espécimes. De acordo com as medidas dos autopódios, entre os tipos de hábitos (**Tabela 10**), apenas dois grupos são significativamente diferentes entre si: terrestres e semiaquático. Entre os subtipos de hábitos (**Tabela 11**), os grupos que apontaram diferença foram os semiaquáticos de grandes corpos d'água com água corrente e os semiaquáticos de pequenos corpos d'água com água parada. Quanto às famílias (**Tabela 12**), as diferenças encontradas foram entre a Chelidae e as famílias Podocnemididae e Testudinidae.

**Tabela 10** – Resultado do teste *post-hoc* de Mann-Whitney em pares para os tipos de *habitats* a partir das medidas do autopódio (mm). (\*) Valores de p significativos.

	Semiaquático	Terrestre	Aquático
Semiaquático		0,004644*	0,2866
Terrestre	0,004644*		0,8665
Aquático	0,2866	0,8665	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 11** – Resultado do teste *post-hoc* de Mann-Whitney em pares para os subtipos de *habitats* a partir das medidas da autopódio (mm). GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PP – Pequeno corpo d'água com água parada; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	GC	GP	TD	PP	PC	TP	MR
GC		0,06209	1	0,005704*	1	0,178	1
GP	0,06209		1	1	1	0,1539	1
TD	1	1		0,1418	1	0,178	1
PP	0,005704*	1	0,1418		1	0,05663	1
PC	1	1	1	1		1	1
TP	0,178	0,1539	0,178	0,05663	1		1
MR	1	1	1	1	1	1	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 12** – Resultado do teste *post-hoc* de Mann-Whitney em pares para as famílias a partir das medidas da autopódio (mm). CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	CH	PD	EM	KN	TE	CL
CH		0,04913*	1	1	0,03233*	1

<b>PD</b>	0,04913*		0,276	1	0,1039	1
<b>EM</b>	1	0,276		1	0,2068	1
<b>KN</b>	1	1	1		1	1
<b>TE</b>	0,03233*	0,1039	0,2068	1		1
<b>CL</b>	1	1	1	1	1	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo as medidas encontradas nos zeugopódio, entre os tipos de hábitos (**Tabela 13**), os grupos não apresentaram diferenças significativas. Entre os subtipos de hábitos (**Tabela 14**), as diferenças foram indicadas entre as espécies de grande corpo d'água com água corrente com pequenos corpos d'água com água parada e terras planas. Em relação às famílias (**Tabela 15**), também não apresentaram diferenças significativas.

**Tabela 13** – Resultado do teste post-hoc de Mann-Whitney em pares para os tipos de hábitos a partir das medidas do zeugopódio (mm). (\*) Valores de p significativos.

	<b>Semiaquático</b>	<b>Terrestre</b>	<b>Aquático</b>
<b>Semiaquático</b>		0,06677	0,0692
<b>Terrestre</b>	0,06677		1
<b>Aquático</b>	0,0692	1	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 14** – Resultado do teste post-hoc de Mann-Whitney em pares para os subtipos de hábitos a partir das medidas do zeugopódio (mm). GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PP – Pequeno corpo d'água com água parada; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	<b>GC</b>	<b>GP</b>	<b>TD</b>	<b>PP</b>	<b>PC</b>	<b>TP</b>	<b>MR</b>
<b>GC</b>		0,2401	1	0,000194*	1	1	1
<b>GP</b>	0,2401		0,663	0,4	1	0,5794	0,4798
<b>TD</b>	1	0,663		0,08416	1	1	1
<b>PP</b>	0,000194*	1	0,08416		1	0,0374*	0,1142
<b>PC</b>	1	1	1	1		1	1
<b>TP</b>	1	0,5794	1	0,0374*	1		1
<b>MR</b>	1	0,4798	1	0,1142	1	1	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 15** – Resultado do teste post-hoc de Mann-Whitney em pares para as famílias a partir das medidas do zeugopódio (mm). CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	CH	PD	PL	EM	KN	TE	CL
CH		0,05972	1	1	1	0,2839	0,2523
PD	0,05972		1	0,1972	0,4151	1	1
PL	1	1		1	1	1	1
EM	1	0,1972	1		1	1	0,5307
KN	1	0,4151	1	1		1	1
TE	0,2839	1	1	1	1		1
CL	0,2523	1	1	1	1	1	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em relação às medidas dos estilopódios, entre os tipos de hábitos (**Tabela 16**), os grupos significativamente diferentes indicados foram aquático e semiaquático. Entre os subtipos de hábitos (**Tabela 17**), as diferenças foram apontadas entre os grupos de pequenos corpos d'água com água parada e grandes corpos d'água com água corrente e marinhos. As famílias (**Tabela 18**) que apresentaram diferenças significativas entre elas foram Chelidae e Cheloniidae.

**Tabela 16** – Resultado do teste *post-hoc* de Mann-Whitney em pares para os tipos de hábitos a partir das medidas do estilopódio (mm). (\*) Valores de p significativos.

	Semiaquático	Terrestre	Aquático
Semiaquático		0,1109	0,003581*
Terrestre	0,1109		0,05388
Aquático	0,003581*	0,05388	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 17** – Resultado do teste *post-hoc* de Mann-Whitney em pares para os subtipos de hábitos a partir das medidas do estilopódio (mm). GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PP – Pequeno corpo d'água com água parada; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	GC	GP	TD	PP	PC	TP	MR
GC		1	1	0,00102*	1	1	0,06673
GP	1		0,9383	1	1	0,3776	0,03817
TD	1	0,9383		0,05306	1	1	0,6557

<b>PP</b>	0,00102*	1	0,05306		1	0,1698	0,02922*
<b>PC</b>	1	1	1	1		1	1
<b>TP</b>	1	0,3776	1	0,1698	1		0,3771
<b>MR</b>	0,06673	0,03817	0,6557	0,02922*	1	0,3771	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 18** – Resultado do teste *post-hoc* de Mann-Whitney em pares para as famílias a partir das medidas do estilopódio (mm). CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	<b>CH</b>	<b>PD</b>	<b>PL</b>	<b>EM</b>	<b>KN</b>	<b>CR</b>	<b>TE</b>	<b>CL</b>
<b>CH</b>		0,2114	1	1	0,364	1	0,5459	0,027019*
<b>PD</b>	0,2114		0,9451	1	0,2963	1	1	0,5678
<b>PL</b>	1	0,9451		1	1	1	0,9957	1
<b>EM</b>	1	1	1		0,6213	1	1	0,1088
<b>KN</b>	0,364	0,2963	1	0,6213		1	0,4799	1
<b>CR</b>	1	1	1	1	1		1	1
<b>TE</b>	0,5459	1	0,9957	1	0,4799	1		0,5029
<b>CL</b>	0,02719*	0,5678	1	0,1088	1	1	0,5029	

Fonte: Elaborado pelo autor.

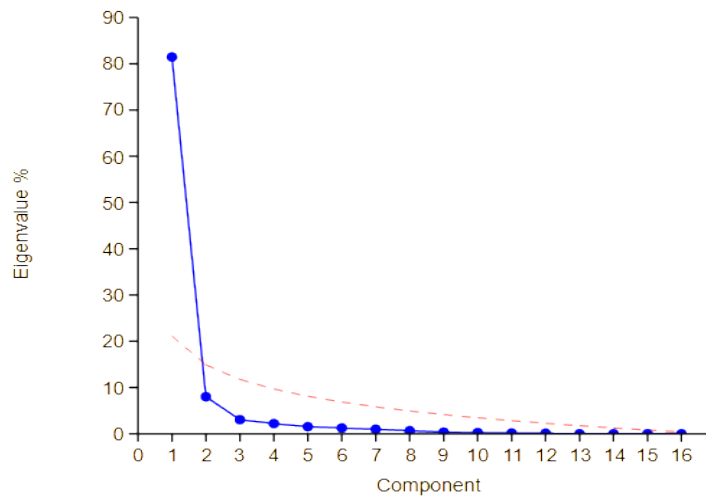
## 3.2 Morfometria Geométrica da Cintura Escapular

### 3.2.1 Coracoide

#### 3.2.1.1 Variação do *shape* do coracoide

No PCA realizado com o coracoide, o único PC significativo é o PC1, representando 81,46% da variação total da estrutura (**Figura 8; Tabela 19**). Nas **figuras 9, 10 e 11**, é possível notar a distribuição dos grupos taxonômicos e ecológicos no morfoespaço. No PC1, os extremos da variação são os indivíduos *Chelonoidis carbonarius* (MZUSP2145), pertencente à família Testudinidae de hábito terrestre em terras planas, e *Peltocephalus dumerilianus* (INPA25558), pertencente à família Podocnemididae de hábito semiaquático em todos os corpos de água doce (**Figura 9**).

**Figura 8** – *Scree plot* indicando a variação dos PCs do coracoide. Os PCs que mais influenciam a variação são os que estão acima da linha pontilhada vermelha, nesse caso, o PC1 é o único PC significativo, descrevendo 81,46% da variação do coracoide.



Fonte: Elaborado pelo autor.

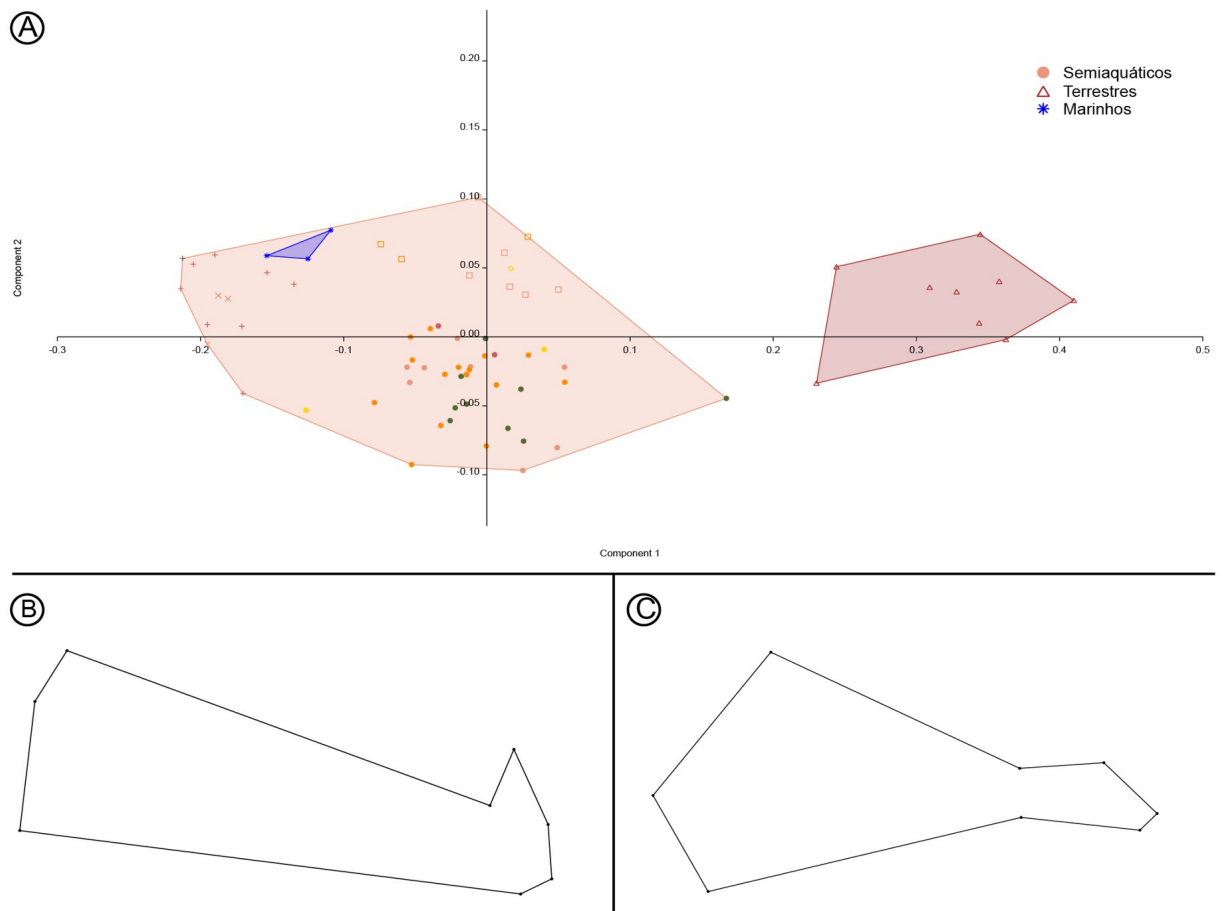
**Tabela 19** – Descrição da variação dos 5 primeiros PCs do coracoide.

PC	Autovalor	Variância %
1	0,0220803	81,47
2	0,00216967	8,01
3	0,000823009	3,0365
4	0,000596217	2,1997
5	0,000415175	1,5318

Fonte: Elaborado pelo autor.

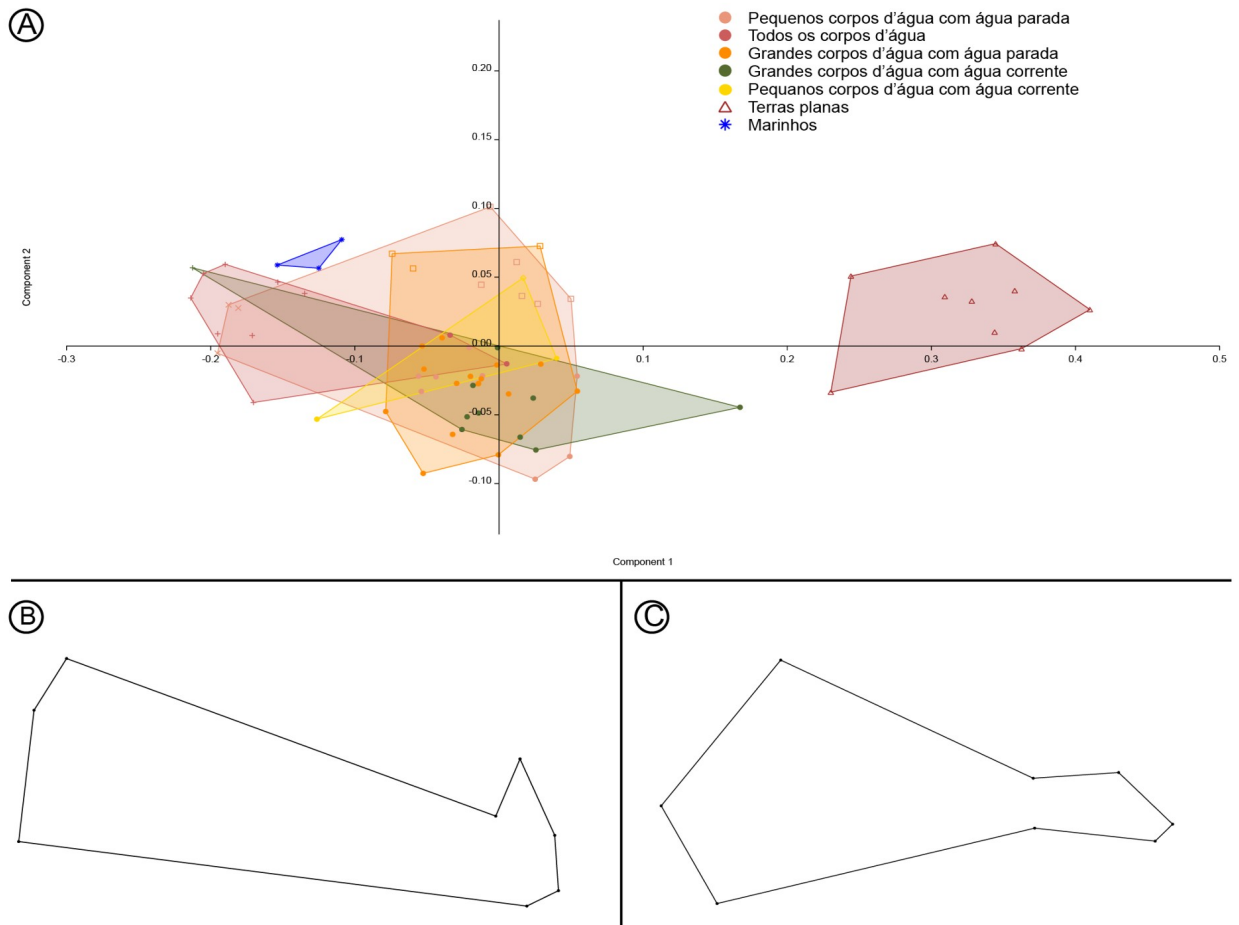
Nos extremos da variação observada no PC1, a espécie semiaquática *Peltocephalus dumerilianus* (INPA25558), apresenta o coracoide próximo ao observado nas **Figuras 9 (B), 10 (B) e 11 (B)** (escore -0,2 no eixo PC1), no qual a lâmina é mais alongada e estreita. A região do colarinho é pouco menos larga do que a margem medial, a ampliação da largura da estrutura é sutil e a angulação da margem medial é mínima. Na espécie terrestre *Chelonoidis carbonarius* (MZUSP2145), o coracoide próximo ao observado nas **Figura 9 (C), 10 (C) e 11 (C)** (escore +0,4 no eixo PC1), a lâmina é mais achatada em comprimento e larga. A região do colarinho do coracoide é estreita ampliando como um leque até a margem medial, que assume uma angulação evidente.

**Figura 9** – PCA do coracoide dividido pelos grupos de tipos de *habitats*. **(A)** *Scatter plot* do PCA. **(B)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC1. **(C)** Grade de distorção do escore +0,4 do PC1.



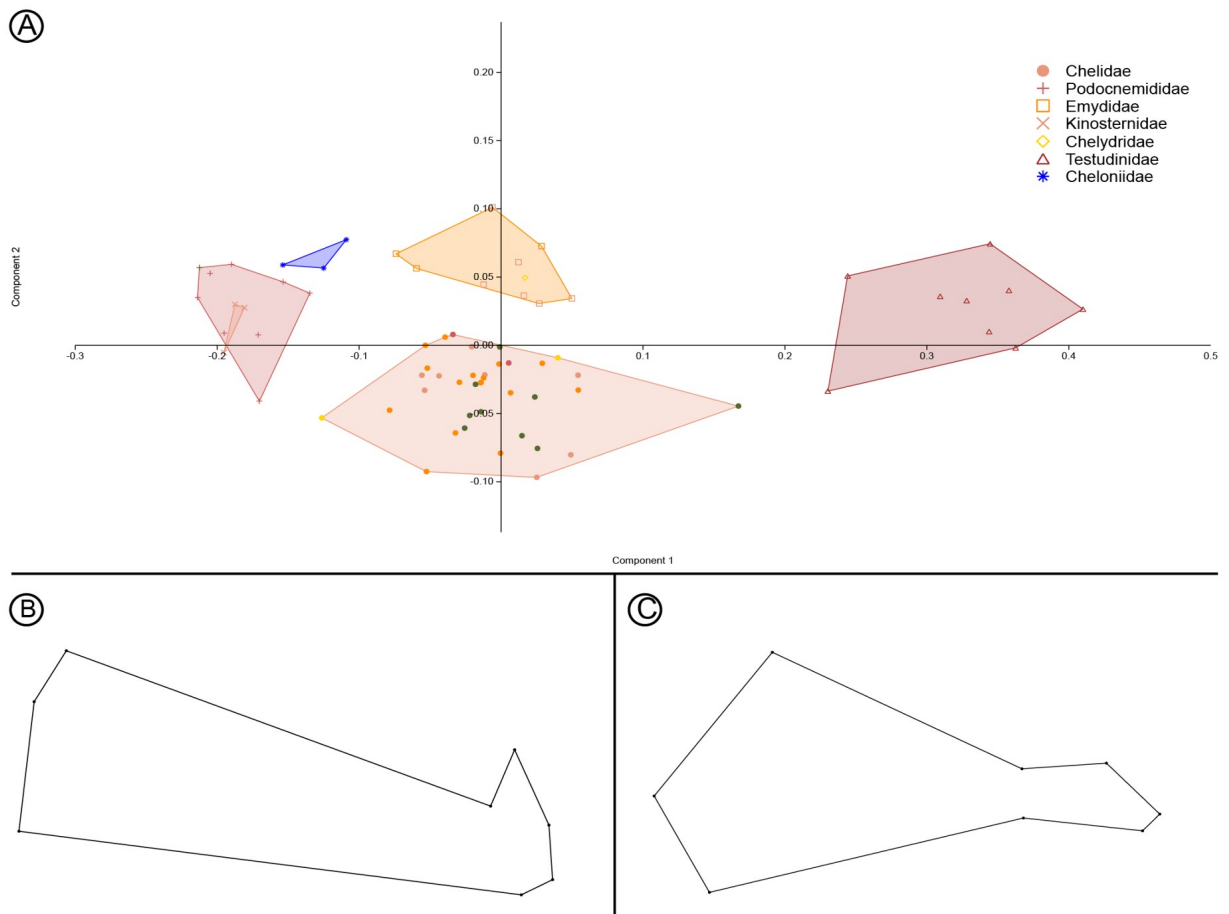
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 10** – PCA do coracoide dividido pelos grupos de subtipos de *habitats*. **(A)** *Scatter plot* do PCA. **(B)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC1. **(C)** Grade de distorção do escore +0,4 do PC1.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 11** – PCA do coracoide dividido pelos grupos de famílias. **(A)** *Scatter plot* do PCA. **(B)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC1. **(C)** Grade de distorção do escore +0,4 do PC1.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) determinou que não houve distribuição normal em nenhum dos classificadores (**Tabelas 20, 21 e 22**). Diante desse resultado, é indicado a utilização de testes não-paramétricos para examinar a variação entre os grupos.

**Tabela 20** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os tipos de *habitats*. (\*) Valores de p significativos.

	Semiaquático	Terrestre	Aquático
N	59	9	3
Shapiro-Wilk W	0,9004	0,92	0,9729
p(normal)	0,0001543*	0,4008	0,6842

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 21** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os subtipos de *habitats*. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	PP	GC	GP	TD	PC	TP	MR
<b>N</b>	17	10	19	10	3	9	3
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,8245	0,8181	0,9723	0,8072	0,8521	0,92	0,9729
<b>p(normal)</b>	0,004481*	0,02402*	0,8207	0,01773*	0,2462	0,4008	0,6842

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 22** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para as famílias. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN -Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE -Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	CH	PD	EM	KN	CR	TE	CL
<b>N</b>	37	9	9	3		9	3
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9181	0,9336	0,9112	0,9986		0,921	0,9729
<b>p(normal)</b>	0,009769*	0,5169	0,3245	0,9275		0,4008	0,6842

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse caso, o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi empregado. Os resultados aplicados aos grupos ecológicos e taxonômicos a partir do *shape* do coracoide indicaram que existe alguma diferença significativa entre os grupos ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 23**). Portanto, em função de rejeitar a hipótese-nula, entende-se que há diferença entre os grupos taxonômicos e ecológicos.

**Tabela 23** – Resultado do teste de Kruskal-Wallis para os grupos ecológicos (tipos e subtipos de *habitat*) e taxonômicos (famílias) a partir do *shape* do coracoide. (\*) Valores de p significativos.

	H (Qui-Quadrado)	H <sub>c</sub> (empate corrigido)	P
<b>Tipos de <i>habitat</i></b>	25,52	25,52	0,00000288*
<b>Subtipos de <i>habitat</i></b>	36,49	36,49	0,00000222*
<b>Famílias</b>	49,55	49,55	0,00000000578*

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com o teste de Mann-Whitney (com correção de Bonferroni), entre os tipos de *habitats* (**Tabela 24**), o grupo de hábito terrestre se mostra significativamente diferente dos semiaquáticos e aquáticos. Entre os subtipos de *habitats* (**Tabela 25**), os grupos que apontaram maior diferença foram os terrestres de terras planas com os semiaquáticos de

pequeno corpo d'água com água parada, grande corpo d'água com água corrente, grande corpo d'água com água parada e todos os corpos d'água. Além disso, foi indicada diferença significativa entre os grupos de semiaquáticos de todos os corpos d'água e grandes corpos d'água com água parada. Quanto às famílias (**Tabela 26**), as diferenças encontradas foram entre Testudinidae e Chelidae, Podocnemididae e Emydidae. E, ainda, entre Podocnemididae e as famílias Chelidae e Emydidae.

**Tabela 24** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicados aos tipos de *habitats* a partir do coracoide. (\*) Valores de p significativos.

	Semiaquático	Terrestre	Aquático
Semiaquático		0,00000486*	0,2641
Terrestre	0,00000486*		0,0487*
Aquático	0,2641	0,0487*	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 25** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado aos subtipos de *habitat* a partir do coracoide. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	PP	GC	GP	TD	PC	TP	MR
PP		1	1	0,1304	1	0,0008821*	1
GC	1		1	0,153	1	0,005874*	1
GP	1	1		0,01847*	1	0,0006086*	0,1551
TD	0,1304	0,153	0,01847		0,7268	0,005874*	1
PC	1	1	1	0,7268		0,3408	1
TP	0,0008821*	0,005874*	0,0006086*	0,005874*	0,3408		0,3408
MR	1	1	0,1551	1	1	0,3408	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 26** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado às famílias a partir do coracoide. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	CH	PD	EM	KN	CR	TE	CL
CH		0,00009*	1	0,09953	1	0,00009*	0,1365

<b>PD</b>	0,00009*		0,00866*	1	1	0,00866*	0,8812
<b>EM</b>	1	0,00866*		0,3408	1	0,00866*	0,3408
<b>KN</b>	0,09953	1	0,3408		1	0,3408	1
<b>CR</b>	1	1	1	1		1	1
<b>TE</b>	0,00009*	0,00866*	0,00866*	0,3408	1		0,3408
<b>CL</b>	0,1365	0,8812	0,3408	1	1	0,3408	

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.1.2 Testes sobre o tamanho do coracoide

O teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) determinou que não houve distribuição normal em nenhum dos classificadores (**Tabelas 27, 28 e 29**). Diante da distribuição não normal do tamanho do centroide para os grupos classificadores, é indicado a utilização de testes não-paramétricos para examinar a variação entre os grupos.

**Tabela 27** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os tipos de *habitats*. (\*) Valores de p significativos.

	<b>Semiaquático</b>	<b>Terrestre</b>	<b>Aquático</b>
<b>N</b>	59	9	3
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,85	0,81	0,77
<b>p(normal)</b>	0,00000448*	0,03*	0,04*

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 28** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os subtipos de *habitats*. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	<b>PP</b>	<b>GC</b>	<b>GP</b>	<b>TD</b>	<b>PC</b>	<b>TP</b>	<b>MR</b>
<b>N</b>	17	10	19	10	3	9	3
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9779	0,8784	0,9224	0,9753	0,9891	0,8118	0,769
<b>p(normal)</b>	0,9359	0,1249	0,1254	0,9350	0,8003	0,0278*	0,0425*

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 29** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para as famílias. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	<b>CH</b>	<b>PD</b>	<b>EM</b>	<b>KN</b>	<b>CR</b>	<b>TE</b>	<b>CL</b>
<b>N</b>	37	9	9	3		9	3

<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,94	0,9	0,84	0,75	0,81	0,77
<b>p(normal)</b>	0,06	0,28	0,05	0,0053*	0,0278*	0,0425*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados dos testes de Kruskal-Wallis (não paramétrico) aplicados aos grupos ecológicos e taxonômicos a partir do tamanho do coracoide indicaram (**Tabela 30**) diferença significativa entre os grupos.

**Tabela 30** – Resultado do teste de Kruskal-Wallis para os grupos ecológicos (tipos e subtipos de *habitat*) e taxonômicos (famílias) a partir do tamanho do coracoide. (\*) Valores de p significativos.

	<b>H (Qui-Quadrado)</b>	<b>H<sub>c</sub> (empate corrigido)</b>	<b>P</b>
<b>Tipos de <i>habitat</i></b>	13,16	13,16	0,001388*
<b>Subtipos de <i>habitat</i></b>	36,62	36,62	2,09E-06*
<b>Famílias</b>	35,12	35,12	4,09E-06*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Fizemos o teste de *post-hoc* de Mann-Whitney (utilizando a correção de Bonferroni para o valor de p) a fim de testar entre quais grupos as diferenças são mais significativas. De acordo com os tamanhos dos centroides dos coracoides, entre os tipos de *habitats* (**Tabela 31**), o grupo de hábito aquático se mostra significativamente diferente em tamanho dos semiaquáticos e terrestres. Entre os subtipos de *habitats* (**Tabela 32**), as maiores diferença no tamanho foram apontadas entre: os semiaquáticos de pequeno corpo d'água com água parada e os grupos de grande corpo d'água com água corrente e todos os corpos d'água; os semiaquáticos de todos os corpos d'água e os grupos de grandes corpos de água com água parada e terras planas; e, terras planas e grandes corpos d'água com água corrente. Nas famílias (**Tabela 33**), foram diagnosticadas diferenças em tamanho entre Podocnemididae e as famílias Chelidae, Emydidae e Testudinidae.

**Tabela 31** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicados aos tipos de *habitats* a partir dos tamanhos dos centroides dos coracoides. (\*) Valores de p significativos.

	<b>Semiaquático</b>	<b>Terrestre</b>	<b>Aquático</b>
<b>Semiaquático</b>		0,07448	0,01168*
<b>Terrestre</b>	0,07448		0,04869*
<b>Aquático</b>	0,01168*	0,04869*	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 32** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado aos subtipos de *habitat* a partir dos tamanhos do centroide dos coracoide. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	PP	GC	GP	TD	PC	TP	MR
PP		0,0008978*	1	0,01016*	0,4173	1	0,1709
GC	0,0008978*		1	0,2944	1	0,01982*	0,2992
GP	1	1		0,02557*	1	1	0,1551
TD	0,01016*	0,2944	0,02557*		1	0,02644*	0,2992
PC	0,4173	1	1	1		1	1
TP	1	0,01982*	1	0,02644*	1		0,3408
MR	0,1709	0,2992	0,1551	0,2992	1	0,3408	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 33** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado às famílias a partir dos tamanhos do centroide do coracoide. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

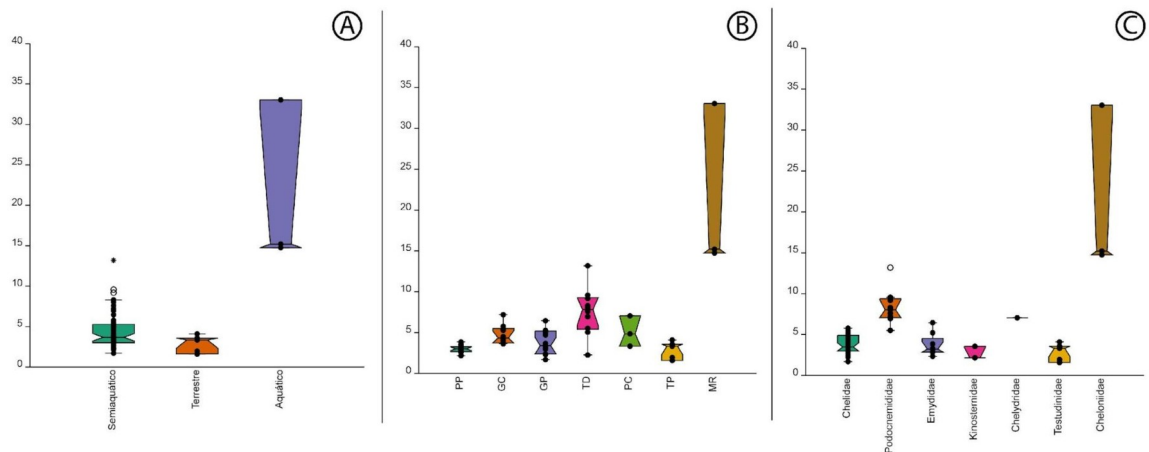
	CH	PD	EM	KN	CR	TE	CL
CH		0,000103*	1	1	1	1	0,09953
PD	0,000103*		0,01205*	0,3408	1	0,008658*	0,3408
EM	1	0,01205*		1	1	1	0,3408
KN	1	0,3408	1		1	1	1
CR	1	1	1	1		1	1
TE	1	0,008658*	1	1	1		0,3408
CL	0,09953	0,3408	0,3408	1	1	0,3408	

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *box plot* (Figura 13) foi feito, utilizando o tamanho do centroide para visualizar distribuição dos grupos tipo de *habitat*, subtipo de *habitat* e família em relação ao tamanho do coracoide. Diante dos resultados das 3 análises, entende-se que os indivíduos de hábito marinho, pertencentes à família Cheloniidae, apresentam maior tamanho em relação aos demais indivíduos de hábitos e famílias diferentes. Os indivíduos terrestres, da família Testudinidae, tendem a ser menores que os semiaquáticos, sendo que a variação parece ser pequena em relação aos grupos semiaquáticos de pequenos corpos d'água com água parada e à família Chelidae. Na análise feita para os tipos de *habitat*, observa-se 3 valores atípicos (*outliers*) em

semiaquáticos e, na análise para família, 1 em Podocnemididae. Isso indica que os tamanhos desses indivíduos se destacam em relação ao restante do grupo.

**Figura 13** – *Box plot* dos grupos de acordo com o tamanho do centroide do coracoide. (A) Tipo de *habitat*; (B) Subtipo de *habitat*; (C) Famílias. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho.

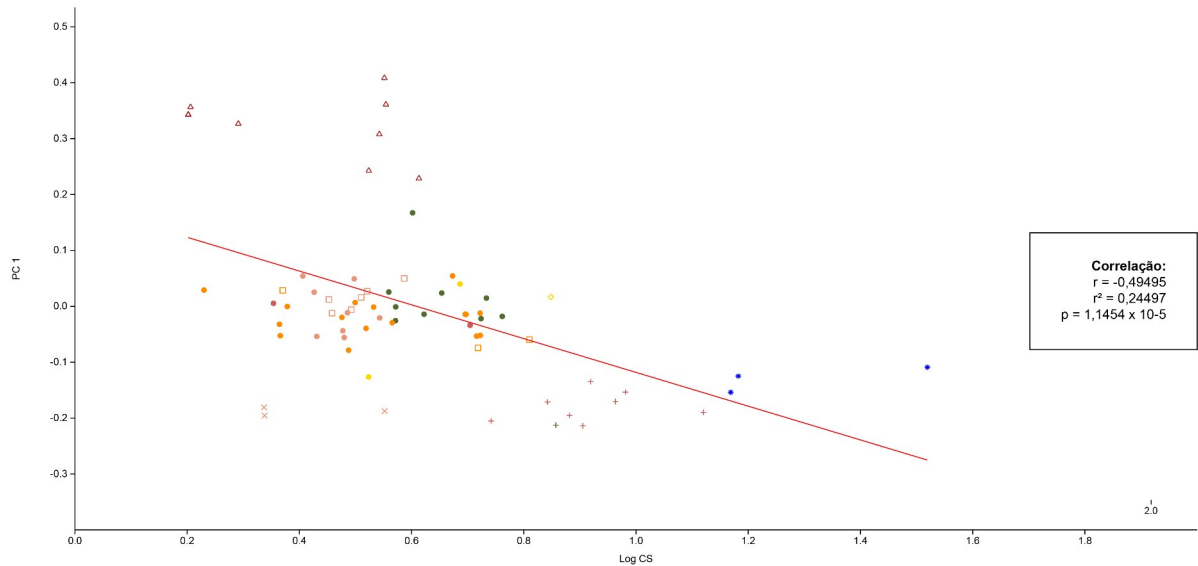


**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.2.1.3. Teste de alometria

Para avaliar se há efeito de tamanho no *shape* do coracoide, foi realizada uma regressão linear simples entre o PC1 (variável de forma) (variável dependente) e o logaritmo do tamanho do centroide (LogCS) (variável de tamanho) (variável independente) do coracoide (**Figura 12**). A regressão linear revela que o tamanho explica 24,5% ( $R^2 = 0,245$ ) da variação do *shape*. O valor de *p* indica que não existe efeito da variável independente ( $p < 0,001$ ), rejeitando, portanto, a hipótese de não-efeito. O coeficiente de correlação ( $r = -0,49495$ ) sugere uma correlação moderada entre as variáveis.

**Figura 12** – Gráfico da regressão linear entre o PC1 com o logaritmo do tamanho do centroide (LogCS) do coracoide. As cores indicam as famílias: triângulos – Testudinidae; círculos – Chelidae; quadrados – Emydidae; losangos – Chelydidae; asteriscos – Cheloniidae; xis – Kinosternidae; cruz – Podocnemididae. Os símbolos indicam os de hábitos de vida: azul – hábito marinho; verde – grandes corpos de água corrente; laranja – grandes corpos de água parada; amarelo – pequenos corpos de água corrente; rosa – pequenos corpos de água parada; vermelho – todos os corpos de água doce; marrom – terras planas.



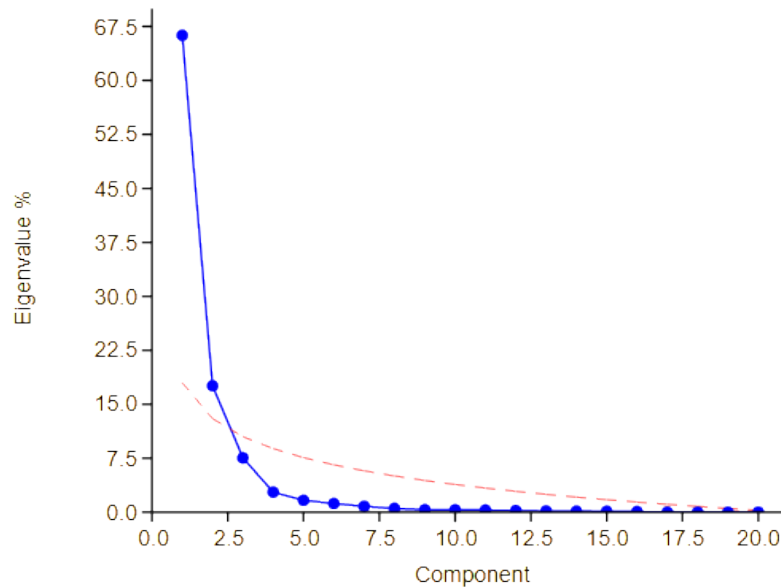
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3.2.2 Escápula

#### 3.2.2.1 Variação do *shape* da escápula

No PCA realizado com a escápula, os PC significativo representam 83,82% da variação total da estrutura, sendo 66,27% da variação referente ao PC1 e, 17,56%, ao PC2 (**Figura 14; Tabela 31**). Nas **figuras 15, 16 e 17**, é possível notar a distribuição dos grupos taxonômicos e ecológicos no morfoespaço. No PC1, os extremos das variações são os indivíduos *Chelonoidis carbonarius* (MZUSP4129), pertencente à família Testudinidae de hábito terrestre em terras planas, e *Phrynops Geoffroanus* (MZUFV0070), pertencente à família Chelidae de hábito semiaquático em grandes corpos d'água com água parada. No PC2, os extremos das variações são os indivíduos *Podocnemis erythrocephala* (Spix 1824) (INPA10268), da família Podocnemididae, de hábito semiaquático em pequenos corpos d'água com água parada, e *Chelonia mydas* (MZUFV0068), de hábito marinho, da família Cheloniidae.

**Figura 14** – *Scree plot* indicando a variação dos PCs da escápula. Os PCs que mais influenciam a variação são os que estão acima da linha pontilhada vermelha, nesse caso, o PC1 descreve 66,266% da variação e, o PC2, 17,556%.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 31** – Descrição da variação dos 5 primeiros PCs da escápula.

PC	Autovalor	Variância %
1	0,00979066	66,27
2	0,00259386	17,56
3	0,00111531	7,5487
4	0,00041092	2,7812
5	0,00024286	1,6437

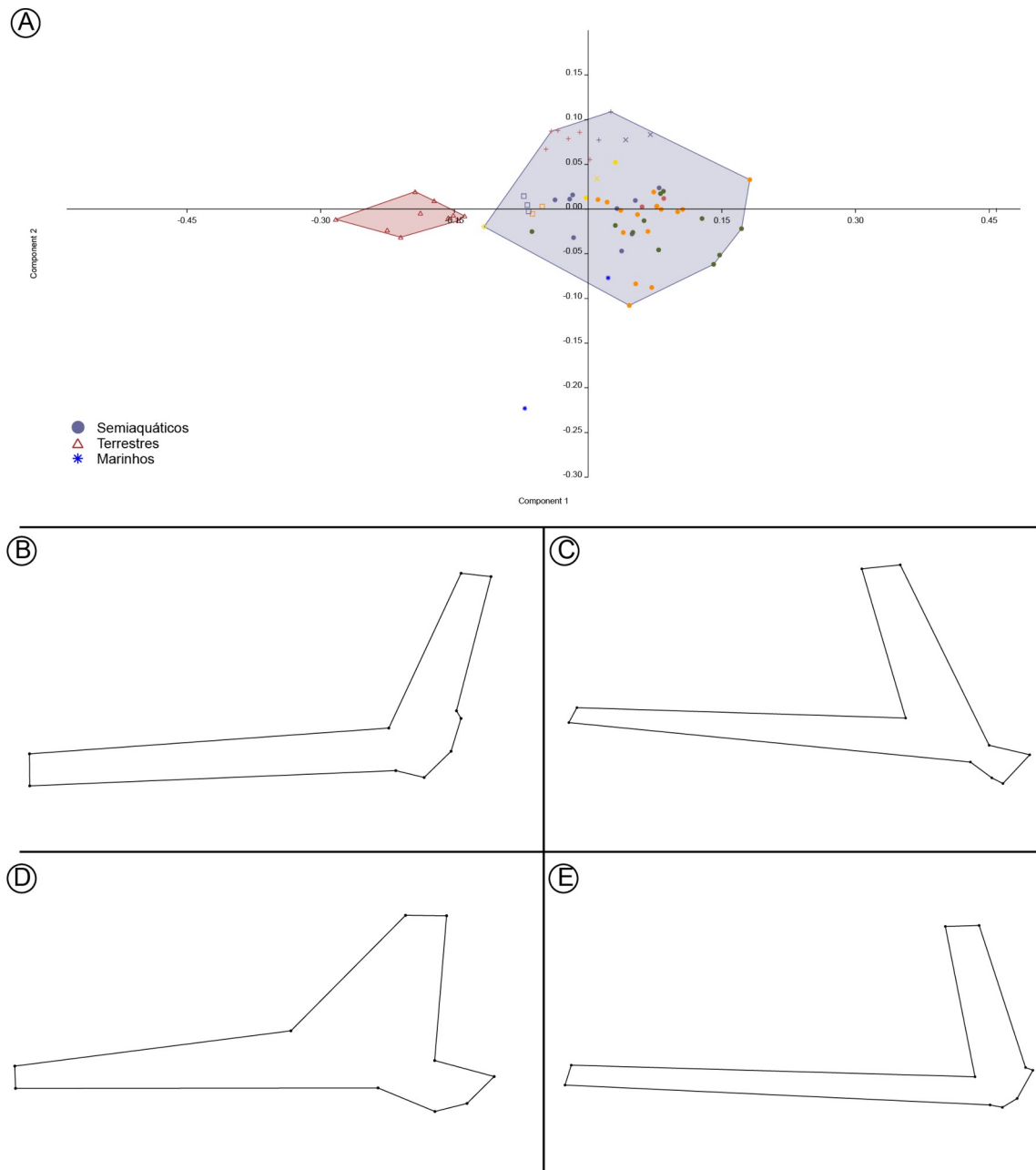
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

No eixo do PC1, a espécie terrestre *Chelonoidis carbonarius* MZUSP4129, apresenta escápula próximo ao observado nas **Figuras 15 (B), 16 (B) e 17 (B)** (escore -0,2 no eixo PC1), em que tanto o processo acromial, quanto o processo escapular dorsal, alongados e espessos mantendo a espessura ao longo de todo o processo. O ângulo entre os processos é obtuso, de modo que o processo escapular dorsal se conecta à carapaça em uma orientação mais verticalizada. Na margem lateral, a área da escápula correspondente à cavidade glenoide, é grande em comprimento. Na espécie semiaquática de grandes corpos d'água com água parada *Phrynops geoffroanus* (MZUFV0070), apresenta escápula próximo ao observado nas **Figuras 15 (C), 16 (C) e 17 (C)** (escore +0,2 no eixo PC1), em que o processo acromial é

alongado e espesso e, gradualmente, torna-se mais largo na borda distal da estrutura, já o processo escapular dorsal é alongado e espesso e mantém a espessura até a borda distal. O ângulo entre os processos é agudo, portanto, o processo escapular dorsal se orienta sutilmente inclinado. A área da escápula correspondente à cavidade glenoide, na margem lateral, é de comprimento médio,

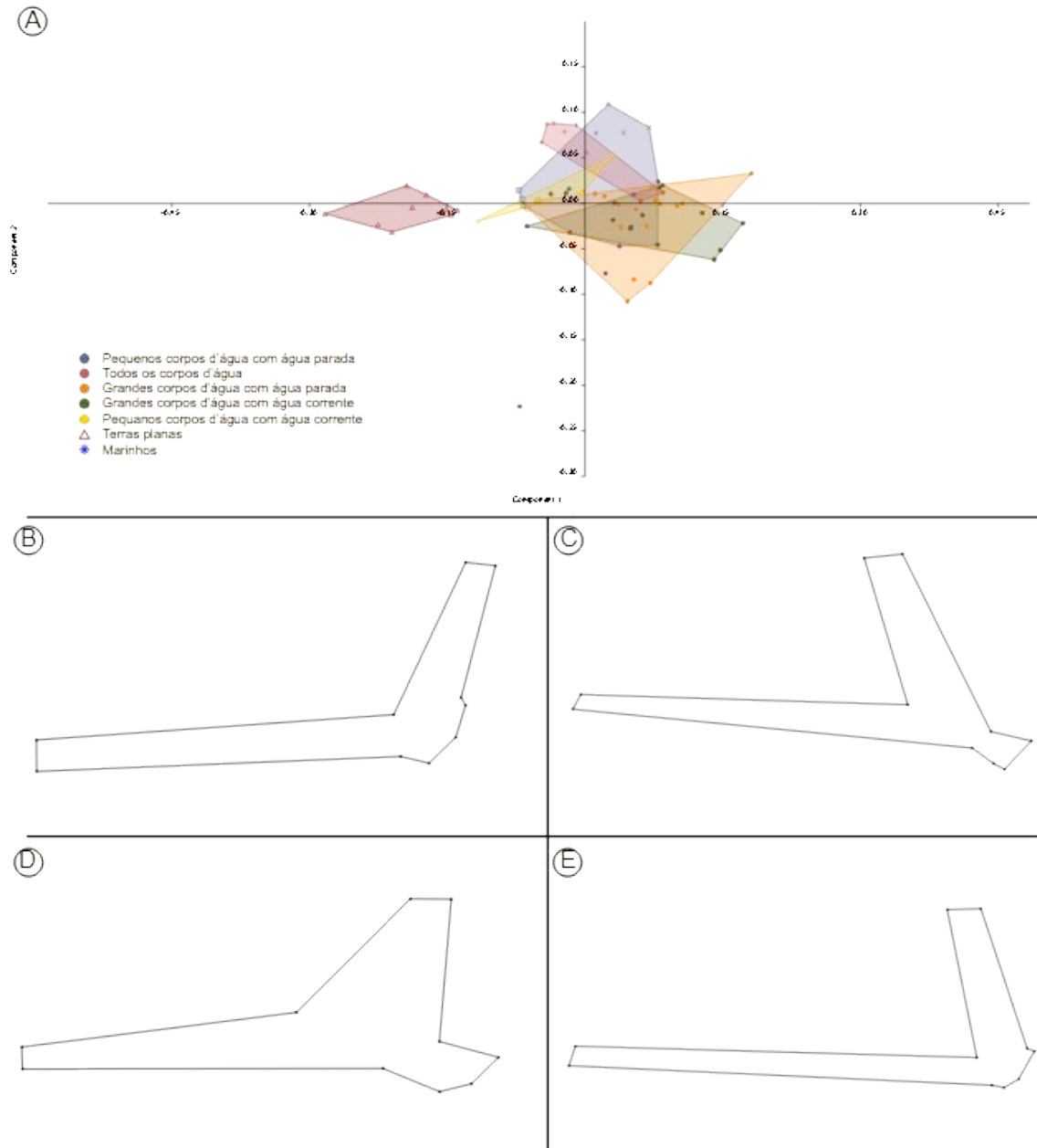
No eixo do PC2, a espécie marinha *Chelonia mydas* (MZUFV0068) exhibe escápula próximo ao observado nas **Figuras 15 (D), 16 (D) e 17 (D)** (score -0,2 no eixo PC2), em que apresenta escápula densa e robusta, na qual o processo acromial e o processo escapular dorsal são próximos em comprimento e largura. O ângulo entre os processos é obtuso. Na margem lateral, a área da escápula correspondente à cavidade glenoide, é grande em comprimento. A espécie semiaquática de pequenos corpos d'água com água parada *Podocnemis erythrocephala* (INPA10268) apresenta escápula próximo ao observado nas **Figuras 15 (E), 16 (E) e 17 (E)** (score +0,1 no eixo PC2), onde o processo acromial e o processo escapular dorsal são alongados e finos, sendo o processo acromial um pouco mais espesso que o processo escapular dorsal. O ângulo entre os processos é, visualmente, próximo a reto e, portanto, o processo escapular dorsal apresenta orientação quase completamente verticalizada. A área da escápula correspondente à cavidade glenoide, na margem lateral, é pequena em comprimento.

**Figura 15** – PCA da escápula dividido pelos grupos de tipos de *habitats*. **(A)** *Scatter plot* do PCA. **(B)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC1. **(C)** Grade de distorção do escore +0,2 do PC1. **(D)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC2. **(E)** Grade de distorção do escore +0,1 do PC2.



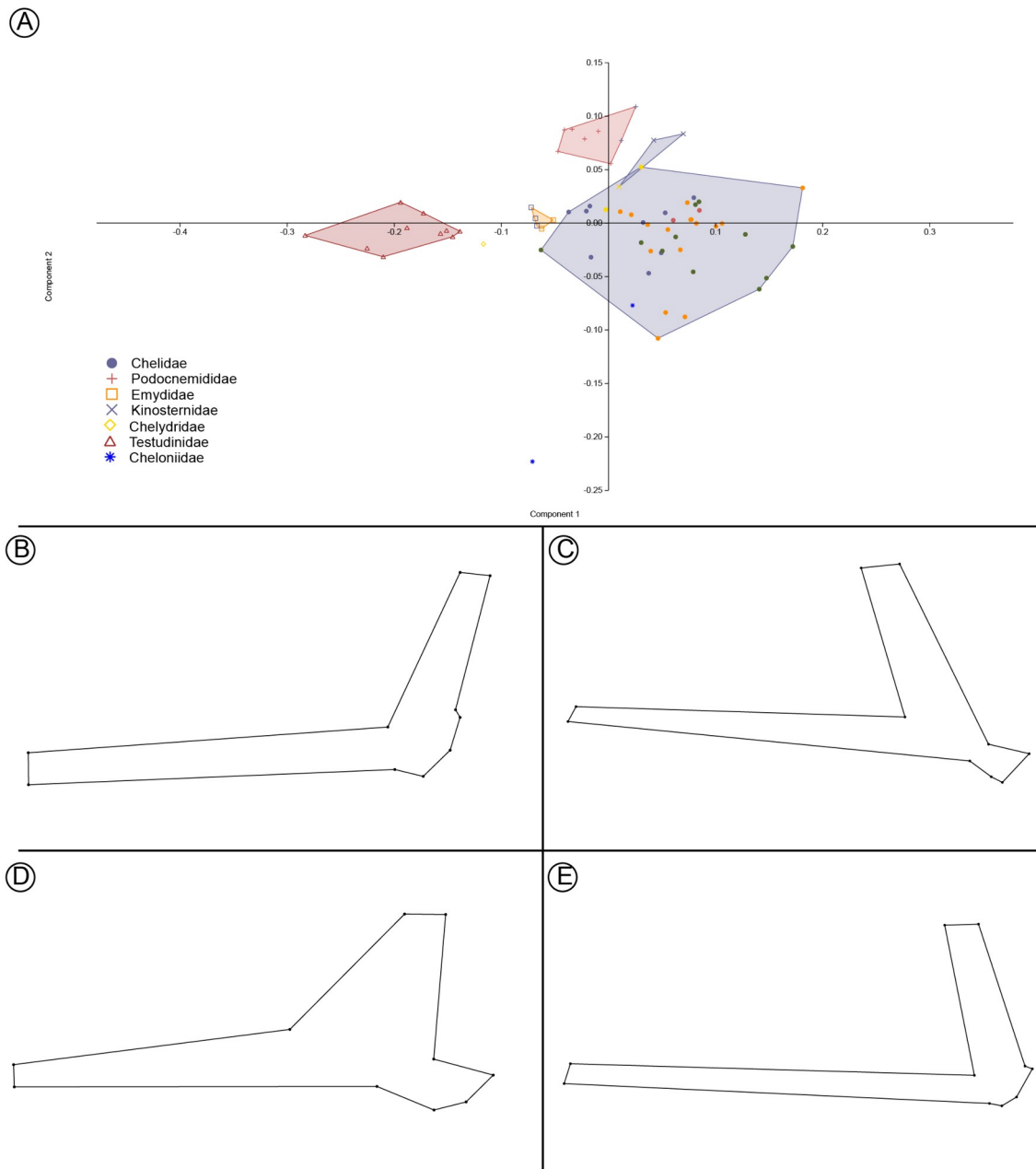
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 16** – PCA da escápula dividido pelos grupos de subtipos de *habitats*. **(A)** *Scatter plot* do PCA. **(B)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC1. **(C)** Grade de distorção do escore +0,2 do PC1. **(D)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC2. **(E)** Grade de distorção do escore +0,1 do PC2.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 17** – PCA da escápula dividido pelos grupos de famílias. **(A)** *Scatter plot* do PCA. **(B)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC1. **(C)** Grade de distorção do escore +0,2 do PC1. **(D)** Grade de distorção do escore -0,2 do PC2. **(E)** Grade de distorção do escore +0,1 do PC2.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) indicou que a distribuição dos dados é normal em todos os classificadores a partir do PC1 e em tipos de *habitat* a partir do PC2 apresentando  $p > 0,05$  (Tabelas 32, 33 e 34). Para os subtipos de *habitat* e famílias a partir do PC2, a distribuição é não normal. A partir desse resultado, depreende-se que o mais adequado é a utilização de testes paramétricos para as análises seguintes a partir do PC1 e não paramétricos para PC2.

**Tabela 32** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os tipos de *habitats*. (\*) Valores de p significativos.

<b>PC1</b>			
	<b>Semiaquático</b>	<b>Terrestre</b>	<b>Aquático</b>
<b>N</b>	57	10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9835	0,9081	1
<b>p(normal)</b>	0,6243	0,2679	1
<b>PC2</b>			
	<b>Semiaquático</b>	<b>Terrestre</b>	<b>Aquático</b>
<b>N</b>	57	10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9596	0,9503	1
<b>p(normal)</b>	0,0543	0,6717	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 33** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os subtipos de *habitats*. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

<b>PC1</b>							
	<b>PP</b>	<b>GC</b>	<b>GP</b>	<b>TD</b>	<b>PC</b>	<b>TP</b>	<b>MR</b>
<b>N</b>	17	10	18	8	4	10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9238	0,9385	0,9299	0,8587	0,8134	0,9081	1
<b>p(normal)</b>	0,1715	0,5365	0,1933	0,1164	0,1284	0,2679	1
<b>PC2</b>							
	<b>PP</b>	<b>GC</b>	<b>GP</b>	<b>TD</b>	<b>PC</b>	<b>TP</b>	<b>MR</b>
<b>N</b>	17	10	18	8	4	10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9106	0,9366	0,7818	0,8063	0,9809	0,9503	1
<b>p(normal)</b>	0,1024	0,5157	0,0008*	0,0334*	0,9074	0,6717	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 34** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para as famílias. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

<b>PC1</b>							
	<b>CH</b>	<b>PD</b>	<b>EM</b>	<b>KN</b>	<b>CR</b>	<b>TE</b>	<b>CL</b>
<b>N</b>	40	8	5	3		10	2

	CH	PD	EM	KN	CR	TE	CL
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9754	0,9546	0,9136	0,998		0,9081	1
<b>p(normal)</b>	0,5225	0,7573	0,4894	0,9155		0,2679	1
<b>PC2</b>							
<b>N</b>	40	8	5	3		10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9244	0,9612	0,943	0,839		0,9503	1
<b>p(normal)</b>	0,0106*	0,8212	0,6872	0,2114		0,6717	1

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

A ANOVA foi utilizada a partir dos escores de PC1 e os grupos ecológicos (tipos e subtipos de *habitat*) e taxonômicos (famílias) e, o teste de Kruskal-Wallis, foi realizado utilizando os escores de PC2 e os grupos ecológicos (tipo e subtipo de *habitat*) e taxonômicos (famílias). A exceção do grupo tipos de *habitat* para o PC2, o qual apresentou distribuição normal de dados. O grupo taxonômico famílias apresentou falha na ANOVA em função da presença de 1 grupo com 1 indivíduo (espécie *Chelydra serpentina* (Linnaeus 1758) na família Chelydridae), diante disso, para o PC1 (onde a distribuição é normal) o classificador foi submetido ao teste de Kruskal-Wallis e a ANOVA retirando o grupo Chelydridae. Os resultados dos testes aplicados aos grupos ecológicos e taxonômicos a partir do *shape* da escápula indicaram significância em todos os casos (**Tabelas 35 e 36**). Isto é, rejeita-se a hipótese-nula e, portanto, pode-se dizer que os shapes são diferentes entre os grupos taxonômicos e ecológicos. Portanto, em função de, entende-se que há diferença entre os grupos.

**Tabela 35** – Resultado da ANOVA para os grupos ecológicos (tipos e subtipos de *habitat*) e taxonômicos (famílias) a partir do *shape* da escápula. (\*) Valores de p significativos.

<b>PC1</b>		
	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Tipos de <i>habitat</i></b>	54,2	$1,185 \times 10^{-14}$ *
<b>Subtipos de <i>habitat</i></b>	26,01	$3,238 \times 10^{-15}$ *
<b>Famílias</b>	46,25	$1,172 \times 10^{-19}$ *
<b>PC2</b>		

	F	p
<b>Tipos de <i>habitat</i></b>	12,39	2,69 x 10 <sup>-8*</sup>

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 36** – Resultado do teste de Kruskal-Wallis para os grupos ecológicos (tipos e subtipos de *habitat*) e taxonômicos (famílias) a partir do *shape* da escápula. (\*) Valores de p significativos.

PC1			
	H (Qui-Quadrado)	H <sub>c</sub> (empate corrigido)	p
<b>Famílias</b>	45,75	45,75	3,317 x 10 <sup>-8*</sup>
PC2			
	H (Qui-Quadrado)	H <sub>c</sub> (empate corrigido)	p
<b>Subtipos de <i>habitat</i></b>	25,08	25,08	0,0003302*
<b>Famílias</b>	32,04	32,04	0,0161*

Fonte: Elaborado pelo autor.

O uso do foi utilizado para testar entre quais grupos as diferenças são mais significativas. O teste foi aplicado sobre o escore do PC1 e PC2 e os grupos ecológicos e taxonômicos. Destaca-se que a correção de Bonferroni para o valor de p foi utilizado nos testes.

De acordo com o teste de *post-hoc* de Mann-Whitney (utilizando a correção de Bonferroni para o valor de p), a partir dos escores de PC1 da escápula, entre os tipos de *habitats* (**Tabela 37**), o grupo de hábito terrestre se mostra significativamente diferente dos semiaquáticos. Entre os subtipos de *habitats* (**Tabela 38**), os grupos que apontaram maior diferença foram os terrestres de terras planas com os semiaquáticos de pequeno corpo d'água com água parada, grande corpo d'água com água corrente, grande corpo d'água com água parada e todos os corpos d'água. As famílias (**Tabela 39**) apresentaram diferenças entre Chelidae e Podocnemididae, Emydidae, Testudinidae e, também, entre as famílias Testudinidae e Podocnemididae.

Segundo os testes feitos a partir dos escores de PC2 da escápula, entre os tipos de *habitats* (**Tabela 37**), os grupos não mostras diferenças significativas. Entre os subtipos de *habitats* (**Tabela 38**), os grupos que apontaram maior diferença foram os semiaquáticos de todos os corpos d'água e grande corpo d'água com água corrente, grande corpo d'água com

água parada e terras planas. Quanto as famílias (**Tabela 39**), foram diagnosticadas diferenças entre Podocnemididae e as famílias Chelidae e Testudinidae.

**Tabela 37** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicados aos tipos de *habitats* a partir da escápula. (\*) Valores de p significativos.

<b>PC1</b>			
	<b>Semiaquático</b>	<b>Terrestre</b>	<b>Aquático</b>
<b>Semiaquático</b>		0,00167*	0,5203
<b>Terrestre</b>	0,00167*		0,1238
<b>Aquático</b>	0,5203	0,1238	
<b>PC2</b>			
	<b>Semiaquático</b>	<b>Terrestre</b>	<b>Aquático</b>
<b>Semiaquático</b>		0,4547	0,0751
<b>Terrestre</b>	0,4547		0,1238
<b>Aquático</b>	0,0751	0,1238	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Tabela 38** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado aos subtipos de *habitat* a partir de escápula. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

<b>PC1</b>							
	<b>PP</b>	<b>GC</b>	<b>GP</b>	<b>TD</b>	<b>PC</b>	<b>TP</b>	<b>MR</b>
<b>PP</b>		0,1118	0,4194	1	1	0,0004637*	1
<b>GC</b>	0,1118		1	0,6193	0,5959	0,003836*	1
<b>GP</b>	0,4194	1		1	0,4039	0,0003732*	1
<b>TD</b>	1	0,6193	1		1	0,009422*	1
<b>PC</b>	1	0,5959	0,4039	1		0,1222	1
<b>TP</b>	0,0004637*	0,003836*	0,0003732*	0,009422*	0,1222		0,8664
<b>MR</b>	1	1	1	1	1	0,8664	
<b>PC2</b>							

	PP	GC	GP	TD	PC	TP	MR
PP		1	1	0,7	1	1	0,5961
GC	1		1	0,03379*	1	1	0,8664
GP	1	1		0,01084*	1	1	1
TD	0,7	0,03379*	0,01084*		1	0,02483*	1
PC	1	1	1	1		1	1
TP	1	1	1	0,02483*	1		0,8664
MR	0,5961	0,8664	1	1	1	0,8664	

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 39** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado às famílias a partir da escápula. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

PC1							
	CH	PD	EM	KN	CR	TE	CL
CH		0,00882*	0,009019*	1	1	2,75E-02*	1
PD	0,00882*		0,09052	1	1	0,009422*	1
EM	0,009019*	0,09052		0,7747	1	0,05658	1
KN	1	1	0,7747		1	0,2992	1
CR	1	1	1	1		1	1
TE	2,75E-02*	0,009422*	0,05658	0,2992	1		0,8664
CL	1	1	1	1	1	0,8664	
PC2							
	CH	PD	EM	KN	CR	TE	CL
CH		0,0002147*	1	0,1111	1	1	0,6531
PD	0,0002147*		0,09052	1	1	0,009422*	1
EM	1	0,09052		0,7747	1	1	1
KN	0,1111	1	0,7747		1	0,2992	1
CR	1	1	1	1		1	1
TE	1	0,009422*	1	0,2992	1		0,8664
CL	0,6531	1	1	1	1	0,8664	

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2.2.3 Testes sobre o tamanho da escápula

O teste de Shapiro-Wilk (teste de normalidade) indicou que a distribuição dos dados é não normal em tipos de *habitat* e subtipos de *habitat* a partir do tamanho do centroide (CS) apresentando  $p < 0,05$  (Tabelas 40 e 41). Para as famílias a partir do CS, a distribuição é normal (Tabela 42). A partir desse resultado, depreende-se que o mais adequado é a utilização de testes paramétricos para as análises seguintes nos grupos ecológicos e não paramétricos no grupo taxonômico.

**Tabela 40** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os tipos de *habitats*. (\*) Valores de p significativos.

	Semiaquático	Terrestre	Aquático
<b>N</b>	57	10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,8541	0,9081	1
<b>p(normal)</b>	0,0000064*	0,2684	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 41** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para os subtipos de *habitats*. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	PP	GC	GP	TD	PC	TP	MR
<b>N</b>	17	10	18	8	4	10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,6908	0,9005	0,8862	0,8852	0,7469	0,9081	1
<b>p(normal)</b>	0,0001*	0,2221	0,0332*	0,2109	0,0362*	0,2684	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Tabela 42** – Resultado do teste de Shapiro-Wilk para as famílias. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN – Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	CH	PD	EM	KN	CR	TE	CL
<b>N</b>	40	8	5	3		10	2
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9619	0,9346	0,9416	0,8061		0,9081	1
<b>p(normal)</b>	0,1944	0,5589	0,6771	0,1291		0,2684	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste de Kruskal-Wallis foi utilizado nos grupos ecológicos (tipos e subtipos de *habitat*). O grupo taxonômico famílias apresentou falha na ANOVA em função da presença de

1 grupo com 1 indivíduo (espécie *Chelydra serpentina* na família Chelydridae), diante disso, o classificador foi submetido ao teste de Kruskal-Wallis e a ANOVA retirando o grupo Chelydridae. O resultado do teste de Kruskal-Wallis aplicado ao grupo tipo de *habitat*, a partir do tamanho do centroide da escápula indicou significância. Portanto, não há diferenças significativas entre as medianas dos tamanhos dos centroides dentro do grupo. Já os resultados dos testes aplicados aos grupos subtipo de *habitats* e família, a partir do tamanho do centroide da escápula indicaram diferença significativa (**Tabela 43**). Desse modo, pode-se dizer que há diferença significativa entre os grupos.

**Tabela 43** – Teste de Kruskal-Wallis e ANOVA para os grupos ecológicos (tipos e subtipos de *habitat*) e taxonômicos (famílias) a partir do tamanho da escápula. (\*) Valores de p significativos.

<b>Kruskal-Wallis</b>			
	<b>H (Qui-Quadrado)</b>	<b>Hc (empate corrigido)</b>	<b>p</b>
<b>Tipos de <i>habitat</i></b>	4,613	4,613	0,09962
<b>Subtipos de <i>habitat</i></b>	18,43	18,43	0,00523*
<b>Famílias</b>	25,58	25,58	0,00027*
<b>ANOVA</b>			
	<b>F</b>	<b>p</b>	
<b>Famílias</b>	17,21	1,205 x 10 <sup>-10</sup>	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

De acordo com o teste de *post-hoc* de Mann-Whitney (utilizando a correção de Bonferroni para o valor de p) a partir dos tamanhos dos centroides das escápulas, entre os subtipos de *habitats* (**Tabela 44**), mostrou diferença significativa entre os semiaquáticos de pequeno corpo d'água com água parada e os semiaquáticos de todos os corpos d'água. Entre as famílias (**Tabela 45**), as maiores diferença no tamanho do centroide foram apontadas entre Podocnemididae e Chelidae.

**Tabela 44** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado aos subtipos de *habitat* a partir da escápula. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho. (\*) Valores de p significativos.

	<b>PP</b>	<b>GC</b>	<b>GP</b>	<b>TD</b>	<b>PC</b>	<b>TP</b>	<b>MR</b>
<b>PP</b>		0,8821	1	0,02093*	1	1	0,8293
<b>GC</b>	0,8821		1	0,4928	1	1	0,8664

<b>GP</b>	1	1		0,1055	1	1	0,5768
<b>TD</b>	0,02093*	0,4928	0,1055		1	0,4928	1
<b>PC</b>	1	1	1	1		1	1
<b>TP</b>	1	1	1	0,4928	1		1
<b>MR</b>	0,8293	0,8664	0,5768	1	1	1	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

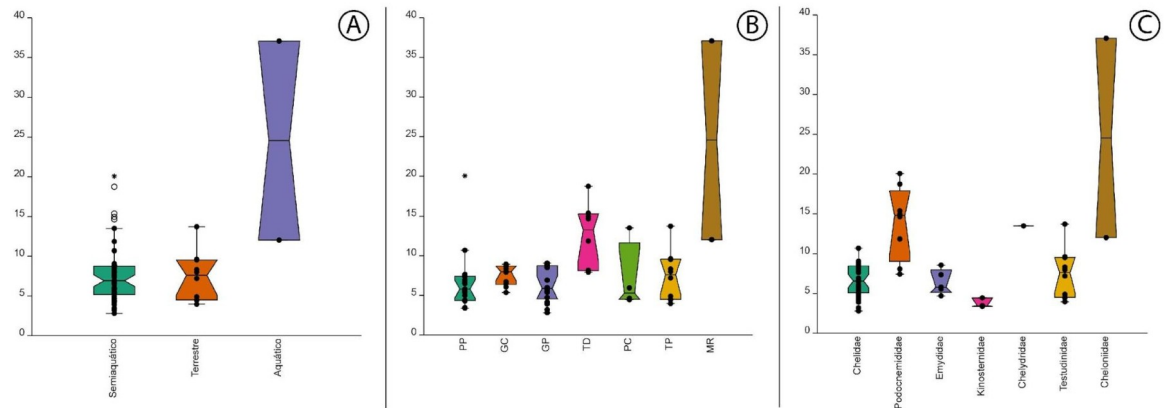
**Tabela 45** – Resultado do teste de *post-hoc* de Mann-Whitney, aplicado às famílias a partir da escápula. CH – Chelidae; PD – Podocnemididae; EM – Emydidae; KN -Kinosternidae; CR – Chelydridae; TE – Testudinidae; CL – Cheloniidae. (\*) Valores de p significativos.

	<b>CH</b>	<b>PD</b>	<b>EM</b>	<b>KN</b>	<b>CR</b>	<b>TE</b>	<b>CL</b>
<b>CH</b>		0,005774*	1	0,4362	1	1	0,4126
<b>PD</b>	0,005774*		0,2187	0,397	1	0,184	1
<b>EM</b>	1	0,2187		0,7747	1	1	1
<b>KN</b>	0,4362	0,397	0,7747		1	0,7268	1
<b>CR</b>	1	1	1	1		1	1
<b>TE</b>	1	0,184	1	0,7268	1		1
<b>CL</b>	0,4126	1	1	1	1	1	

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

O *box plot* foi feito para visualizar distribuição dos grupos – tipos de *habitat*, subtipos de *habitat* e família – em relação ao tamanho do centroide da escápula (**Figura 18**). Diante dos resultados, entende-se que os indivíduos de hábito aquático marinho, pertencentes à família Cheloniidae, apresentam maior escápula em relação aos demais indivíduos de hábitos e famílias diferentes. Os indivíduos terrestres e semiaquáticos tem a apresentar tamanho de escápulas semelhantes. Entretanto, os semiaquáticos de todos os corpos d'água doce e da família Podocnemididae apresentam a escápula em maior tamanho que os demais indivíduos semiaquáticos. Na análise feita para os tipos de *habitat*, observa-se quatro valores atípicos (*outliers*) em semiaquáticos e, na análise para subtipo de *habitat*, um em Pequeno corpo d'água com água parada. Isso indica que os tamanhos desses indivíduos se destacam significativamente em relação ao restante do grupo.

**Figura 18** – Box plot dos grupos de acordo com o tamanho do centroide da escápula. (A) Tipo de *habitat*; (B) Subtipo de *habitat*; (C) Famílias. PP – Pequeno corpo d'água com água parada; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho.

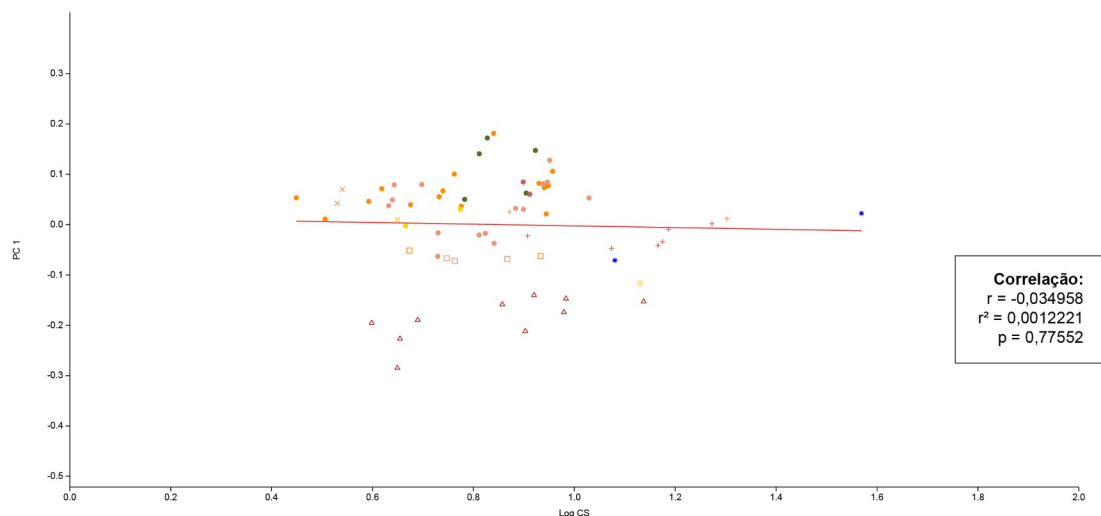


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.3.3 Teste de alometria

Foi realizada a regressão linear simples entre o PC1 (variável de forma) (variável dependente) e o logaritmo do tamanho do centroide (LogCS) (variável de tamanho) (variável independente) (**Figura 19**) a fim de averiguar se há efeito de tamanho no *shape* da escápula. O resultado da regressão linear revela que o tamanho possui explica 1% variação do *shape* ( $R^2 = 0,001$ ). Contudo, o valor de  $p$  indica que não existe efeito da variável independente ( $p > 0,05$ ), não rejeitando, portanto, a hipótese.

**Figura 19** – Gráfico da regressão linear entre o PC1 com o logaritmo do tamanho do centroide (LogCS) da escápula. As cores indicam as famílias: triângulos – Testudinidae; círculos – Chelidae; quadrados – Emydidae; losangos – Chelydidae; asteriscos – Cheloniidae; xis – Kinosternidae; cruz – Podocnemididae. Os símbolos indicam os de hábitos de vida: azul – hábito marinho; verde – grandes corpos de água corrente; laranja – grandes corpos de água parada; amarelo – pequenos corpos de água corrente; rosa – pequenos corpos de água parada; vermelho – todos os corpos de água doce; marrom – terras planas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 DISCUSSÃO

Os principais resultados encontrados foram consistentes com parte da classificação *a priori* dos grupos taxonômicos e ecológicos. Além disso, permitem concluir que existe pouco efeito alométrico na escápula, tendo em vista que o PC1 na análise morfométrica não apresentou correlação com o tamanho do centroide. No coracoide, o PC1 na análise morfométrica apresentou correlação moderada com o tamanho do centroide, indicando efeito alométrico no osso. Em ambas as estruturas, a variação de *shape* independente do tamanho apresentou estrutura mais consistente com as classificações dos grupos. A cintura escapular das espécies da família Testudinidea foi a que mais se diferenciou dos demais grupos pelo *shape*, enquanto que a família Cheloniidae foi a que mais se diferenciou pelo tamanho.

### 4.1 Hábitos ecológicos de acordo com as proporções do membro anterior

Em consonância com os resultados obtidos por Joyce & Gauthier (2004), o estilopódio e o zeugopódio apresentaram alta taxa de correlação em todos os espécimes apresentados ( $p=0,93$ , segundo o teste Spearman's com a correção de Bonferroni). Contudo, a relação “estilopódio *versus* zeugopódio” (úmero (mm) / ulna (mm)) observada foi maior do que o encontrado no estudo mencionado, sendo que o comprimento médio dos estilopódios corresponderam à 2,04 vezes o comprimento médio encontrado nos zeugopódios (**Apêndice D**). A menor relação “estilopódio *versus* zeugopódio” encontrada foi de 1,36 (**Apêndice D**) na espécie semiaquática de pequenos corpos d'água com água parada, *Acanthochelys spixii* (Duméril e Bibron 1835) (MZUFV0048). O resultado encontrado foi bastante abaixo da média dos semiaquáticos, que chegou à 2,14. Enquanto isso, a maior relação observada foi de 2,9 na espécie marinha *Chelonia mydas* (MZUFV4380), pouco acima da média de 2,79 encontrada entre os raros espécimes de Testudines marinhos da amostra. As espécies terrestres foram as que apresentaram menor média da relação “estilopódio *versus* zeugopódio”, sendo o estilopódio equivale à 1,65 vezes o tamanho da zeugopódio em indivíduos desse tipo de hábito de vida.

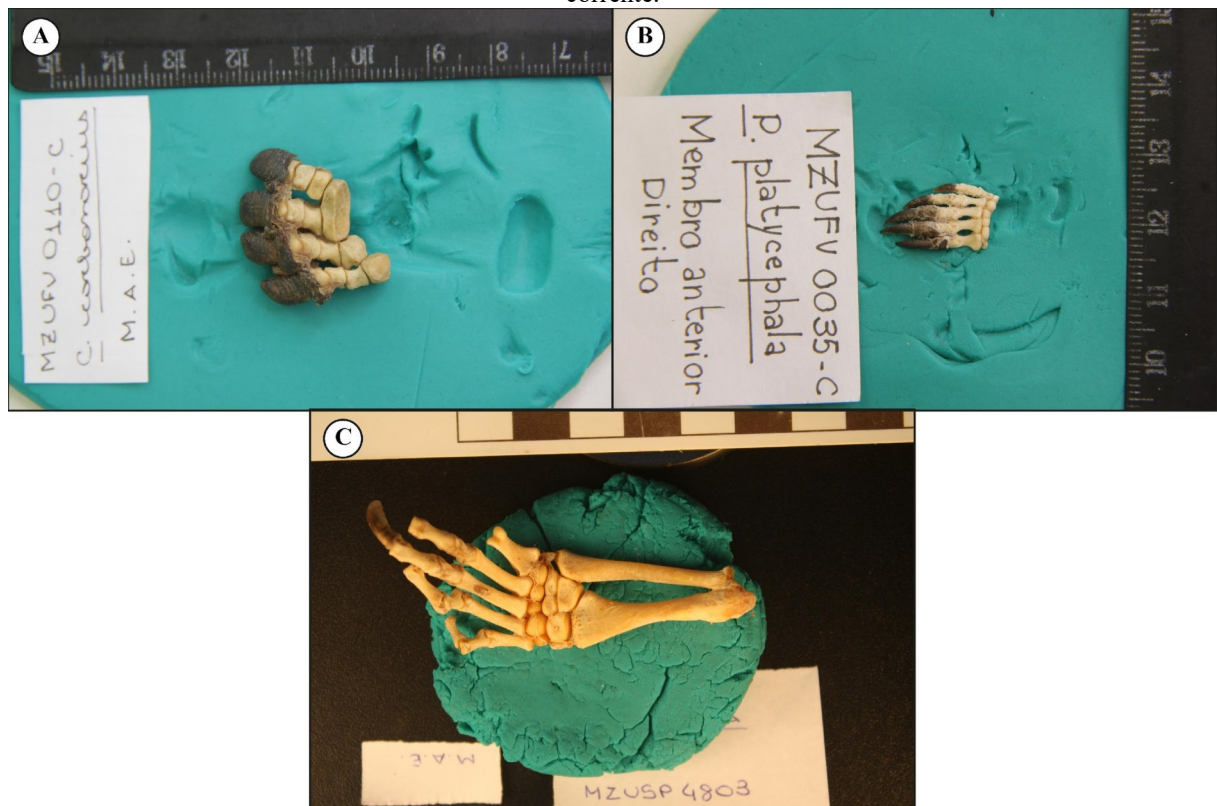
De acordo com todos os espécimes medidos, incluindo aqueles com dados de algumas estruturas ausentes, foi identificada correlação das medidas dos autopódios com as medidas dos zeugopódios e dos estilopódios. Esse resultado difere do encontrado por Joyce & Gauthier (2004), em que os autopódios não tem correlação com nenhuma das estruturas testadas. Os gráficos de dispersão que ilustram as relações “autopódio *versus* zeugopódio” e “autopódio *versus* estilopódio” (**Figura 7 (C–D)**), a partir dos espécimes com medidas completas, indicam que, nas poucas espécies terrestres estudadas, os pequenos autopódio não tendem a variar

muito em comprimento, mesmo quando a variação é observável no zeugopódio ou no estilopódio. Dentro do grupo das espécies semiaquáticas, o crescimento das estruturas do membro anterior parece proporcional. Contudo, as espécies típicas de pequenos corpos d'água com água parada, apresentam autopódios, zeugopódios e estilopódios menores que os dos demais indivíduos do grupo, enquanto as espécies classificadas como de grandes corpos d'água com água corrente, apresentam os maiores autopódios, zeugopódios e estilopódios em relação às demais semiaquáticas. Esse resultado reforça a constatação de Depecker *et al.* (2005) de que o estilopódio tende a se tornar maior, mais robusto e achatado, conforme aumenta o grau da especialização para o nado. Como consequência da correlação constatada, o zeugopódio também aumenta em comprimento. Caracteristicamente, os Testudines semiaquáticos de autopódios curtos são adaptados às pequenas áreas de água ou às águas paradas, ou de fluxo lento, ao passo que as semiaquáticas de autopódios mais longos são adaptadas às grandes áreas de água ou às águas de fluxo rápido (Joyce; Gauthier, 2004), contribuindo na redução do arraste e no aumento do impulso contra a água (Depecker *et al.*, 2005) (**Figura 20**). Isso é, entre as semiaquáticas, as espécies pequenas tendem a viver em pequenos corpos d'água e as espécies grandes, em grandes colunas d'água (Xiao *et al.*, 2023).

A proporção (%) máxima de zeugopódio encontrada foi na espécie terrestre *Chelonoidis carbonarius* (MZUFV0110), e a mínima foi em um espécime de *Phrynops geoffroanus* (MZUSP3321). Em relação ao estilopódio, a maior proporção foi correspondente, também, à espécie terrestre *Chelonoidis carbonarius* (MZUFV0110), e a menor foi *Podocnemis sextuberculata* (INPA21932). Devido ao fato da porção proximal dos membros dos Testudines terrestres estarem encapsulados em uma carapaça tão abaulada e volumosa, o estilopódio tende a ser mais longo otimizando os movimentos de protração e retração em plano horizontal em marcha terrestre (Depecker *et al.*, 2005). O formato robusto, tubular e curvo (**Figura 21 (B)**) também contribui para o alcance necessário durante o movimento anteroposterior (Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016), fornecendo força, comprimento do passo e vantagem mecânica na locomoção (Dickson; Pierce, 2019). As espécies marinhas, tendem a ter a carapaça menos abaulada e mais plana, conjuntamente aos membros anteriores com a porção proximal (estilopódio e zeugopódio) mais curtas e achatadas (Depecker *et al.*, 2005; Young; Blob, 2015; Young; Baeza; Blob, 2019), com curvatura ausente (**Figura 21 (A)**), adaptado para fornecer força e eficiência hidrodinâmica durante os movimentos dorsoventrais do membro no nado típico do grupo (Dickson; Pierce, 2019). A escassez de dados de espécies marinhas limitaram a análise das proporções (%) dos membros dentro do hábito totalmente aquático. Nos resultados, as menores proporções (%) de zeugopódio e estilopódio, que

poderiam ser esperados dentro do grupo de marinhas, que apresentam o autopódio como elemento de maior comprimento (Joyce; Gauthier, 2004; Depecker *et al.*, 2005), foram encontradas espécies semiaquáticas classificadas como de grandes corpos d'água com água parada (*Phrynops geoffroanus*) e todos os corpos d'água (*Podocnemis sextuberculata*). As espécies semiaquáticas tendem a apresentar membros funcionalmente adaptados para força, comprimento dos passos, vantagem mecânica e hidrodinâmica (Dickson; Pierce, 2019), garantindo um perfil apto para o hábito de vida em terra e em água. O estilopódio curvo e tubular desse grupo, aumenta o alcance do eixo de rotação do membro durante a locomoção (Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016) e os processos proximais maiores otimizam a vantagem mecânica muscular (Dickson; Pierce, 2019) (**Figura 21 (C)**).

**Figura 20** – Vista dorsal do autopódio das espécies **(A)** *Chelonoidis carbonarius*, representante de espécie terrestre, **(B)** *Platemys platycephala*, representante de espécie semiaquática de pequenos corpos d'água com água parada, e **(C)** *Ranacephala hogei*, representante de espécie semiaquática de grandes corpos d'água com água corrente.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 21** – Vista dorsal do estilopódio das espécies (A) *Caretta caretta*, representante de espécie marinha, (B) *Chelonoidis carbonarius*, representante de espécie terrestre, e (C) *Phrynops geoffroanus*, representante de espécie semiaquática dulcícola.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os testes de post-hoc de Mann-Whitney, sucessores dos testes não paramétricos que diagnosticaram diferenças entre os grupos, apontaram entre quais grupos são encontradas diferenças significativas. Corroborando observações da literatura, as análises mostraram que os autopódios e os estilopódios são os melhores preditores na diferenciação dos grupos, apresentando potencial de fornecer informações morfológicas funcionais (Joyce; Gauthier, 2004; Dickson; Pierce, 2019). O zeugopódio mostra alguma distinção apenas dentro dos subtipos de hábitos. Os autopódios apontaram diferença significativa entre os hábitos semiaquáticos e terrestre. A escassez de medidas completas de autopódios em espécies aquáticas limita a eficiência do teste em diferenciar todos os hábitos e justifica por que as espécies marinhas não foram apontadas como diferentes dos demais hábitos a partir da análise do comprimento das nadadeiras peitorais. Entre os subtipos de hábitos, os que mais se diferenciaram foram as semiaquáticas de pequenos corpos d'água com água parada e de grandes corpos d'água com água corrente. Os indivíduos do subtipo de *habitat* de terras planas não se apresentaram significativamente diferente dos demais, como esperado. Em função dos autopódios estarem em contato direto com o substrato e o entorno em meios terrestres e aquáticos, essa estrutura pode estar mais sujeita a influência de forças externas na

evolução morfológica (Young; Baeza; Blob, 2019). A família Chelidae, bastante diversificada no subtipo de *habitat*, se mostrou diferente das famílias Podocnemididae, majoritariamente de todos os corpos d'água, e Testudinidae, de terras planas. Em suma, a filogenia parece ter menos influência sobre as proporções do autopódio do que outras variáveis morfológicas (Dudgeon *et al.*, 2021). O estilopódio foi a estrutura com maior quantidade de indivíduos medidos. De acordo com seus resultados, os grupos aquáticos e semiaquáticos se diferenciaram com base no comprimento. Mais precisamente, as espécies semiaquáticas de pequenos corpos d'água com água parada se diferenciaram das semiaquáticas de grandes corpos d'água com água corrente e das marinhas. Em relação aos grupos taxonômicos, a família Chelidae, que inclui a maioria dos Testudines semiaquáticos de pequenos corpos d'água parada e grandes corpos d'água corrente, diferencia-se da família Cheloniidae, composta por espécies de hábito marinho, reforçando o resultado anterior. Os resultados observados nos grupos ecológicos e taxonômicos corroboram a observação de Depecker *et al.* (2005) que, a medida que o grau da especialização para o nado aumenta, o estilopódio se tornar maior, mais robusto e achatado. Essa contatação, ainda, dialoga com a discussão de Dickson & Pierce (2019) que, considerando a diversidade de *habitats* dos Testudines, o estilopódio das tartarugas marinhas é o que apresenta maior diferenciação morfológica.

Os resultados analisados nos testes de *post-hoc* dos autopódios e dos estilopódios compartilham muitas similaridades, evidenciando as maiores diferenças entre os terrestres, os semiaquáticos de pequenos corpos d'água com água parada e os semiaquáticos de grandes corpos d'água com água corrente. Essa interpretação pode ser facilmente visualizada nos gráficos de dispersão das estruturas analisadas par a par e reiterada na observação do gráfico ternário, no qual se forma um gradiente de afinidade com a água, da base para o topo, em concordância com Joyce & Gauthier (2004). Na base do gráfico estão dispostas as espécies terrestres, da família Testudinidae, que apresentam membro característico pelos autopódios curtos (Walker, 1973; Joyce; Gauthier, 2004; Depecker *et al.*, 2005) e pelos estilopódios longos, robustos, tubulares e curvos (Depecker *et al.*, 2005; Young; Baeza; Blob, 2019), garantindo maior estabilidade, alcance e força para a locomoção eficiente no meio terrestre (Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016; Dickson; Pierce, 2019). Logo acima, as espécies semiaquáticas, das famílias Chelidae, Podocnemididae, Emydidae, Kinosternidae e Chelydridae, se dispõem de acordo com os subtipo de *habitat* com algum grau de sobreposição. As espécies de pequenos corpos d'água com água parada se localizam logo acima das terrestres e, em meio a eles, está o único indivíduo de pequenos corpos d'água com água corrente. Acima deles, estão as espécies designadas como de grandes corpos d'água com

água corrente. As espécies classificadas como de grandes corpos d'água com água parada e de todos os corpos d'água se dispuseram ao longo de todo o gradiente de semiaquáticas. Essa distribuição se justifica pelo fato dos grupos ecológicos e taxonômicos representados pelos cágados serem extremamente amplos e diversos, incluindo indivíduos com diferentes preferências e especializações por ambientes terrestres e aquáticos (Joyce; Gauthier, 2004). As espécies semiaquáticas tendem a apresentar um padrão intermediário – entre indivíduos terrestres e totalmente aquáticos – de locomoção e das estruturas responsáveis (Joyce; Gauthier, 2004; Dickson; Pierce, 2019; Young; Baeza; Blob, 2019). No entanto, as estruturas do membro anterior podem variar em função de fatores diversos, como tamanho corporal, funcionalidade e filogenia (Young; Baeza; Blob, 2019). Espécies pequenas geralmente vivem em áreas de pequenos corpos d'água; espécies grandes habitam áreas de grandes colunas d'água (Xial *et al.*, 2023). À vista disso, as espécies com menor preferência e especialização para o nado tendem a se aproximarem da distribuição de espécies terrestres, na base do gráfico ternário; e, as espécies com maior preferência e especialização para o nado se distribuem se aproximando do topo do gráfico, onde estão às espécies marinhas. Quando as espécies estudadas são plotadas junto às espécies estudadas por Joyce & Gauthier (2004), a classificação se mostra condizente com o demonstrado nos indivíduos de Cryptodira e parece eficiente no estudo do membro anterior da amostra definida, a qual é composta majoritariamente por espécies de Pleurodira, especialmente, da família Chelidae.

## **4.2 Hábitos ecológicos, padrões filogenéticos e morfometria geométrica a cintura escapular**

Diferentemente do encontrado por Depecker *et al.* (2006) a partir da cintura escapular articulada, no estudo das estruturas coracoide e escápula de forma independente, não foi encontrado grande efeito alométrico, em especial, na escápula. Isto é, a partir dos espécimes estudados, não foram observadas modificações significativas no *shape* da escápula associadas às modificações de tamanho. No coracoide, o efeito alométrico foi moderado. Diante disso, as variações de *shape* e de tamanho foram analisadas de forma independente nas estruturas.

### **4.2.1 Coracoide**

Como uma análise exploratória, a fim de visualizar a distribuição dos grupos ecológicos e taxonômicos dentro do morfoespaço, a PCA foi realizada usando a matriz de resíduos de Procrustes das estruturas da cintura escapular. No coracoide, as espécies terrestres se diferenciam consideravelmente das espécies de hábitos marinho e semiaquático. Na variação

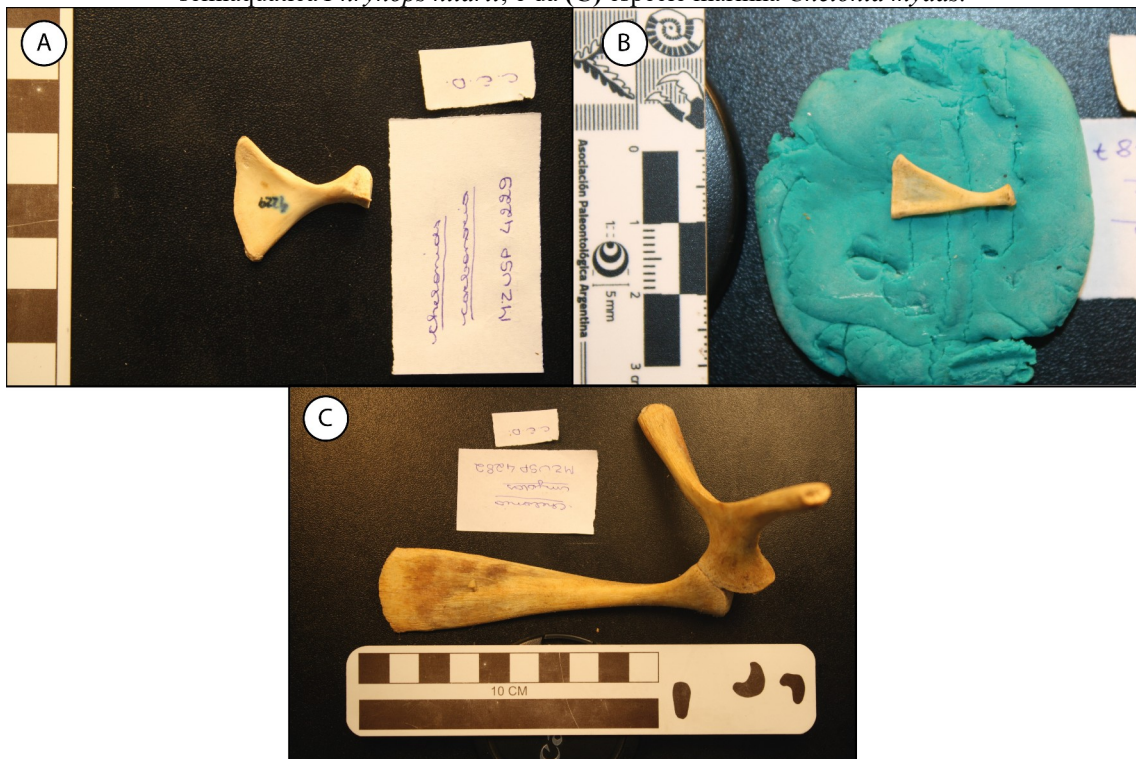
observada no PC1, o exemplar *Chelonoidis carbonarius* (MZUSP4229) se aproxima da média das espécies terrestres, dessa forma, o exemplar é uma referência confiável para a descrição do grupo. A lâmina do coracoide é achatada em comprimento e a largura da borda medial é consideravelmente maior que o colarinho, se assemelhando a um leque. A região lateral, próxima a cavidade glenoide é bem desenvolvida, e a margem medial é suavemente curva (**Figura 22**). Em ambiente terrestre, a cintura escapular exerce função adicional de suporte do peso transferido da coluna vertebral e da carapaça diretamente na escápula (Walker, 1971; Depecker *et al.*, 2006). À vista disso, nas espécies terrestres, os elementos musculares atuantes na locomoção são mais desenvolvidos verticalmente (Jayes; Alexander, 1980; Van Leeuwen *et al.*, 1981; Depecker *et al.*, 2006). Ou seja, o coracoide tende a ser menos desenvolvido e, a escápula, maior, verticalizada e robusta (Depecker *et al.*, 2006; Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016).

*Phrynops hilarii* (Duméril e Bibron) (MZUSP4609) é o indivíduo mais próximo da média dos semiaquáticos, portanto, é a referência utilizada para a descrição do grupo. A lâmina do coracoide, em largura, se expande sutilmente a partir do colarinho até a margem medial, que apresenta uma suave angulação. A região lateral, próximo a cavidade glenoide é pouco desenvolvida (**Figura 22**). As espécies marinhas se sobrepuseram a parte do grupo semiaquático, mas apresenta morfologia bastante distinta da referência descrita para esse grupo. Nas marinhas, a *Chelonia mydas* (MZUSP4282) é o indivíduo referência, se encontrando mais próximo da média do grupo. Nessa espécie, a lâmina do coracoide é mais espessa, em comprimento é alongada e, em largura, é pouco maior que o processo acromial. A margem posterior é reta e ganha comprimento sutilmente do colarinho até a borda medial, que é arredondada e estreita (**Figura 22**). Nas espécies altamente aquáticas, especialmente as marinhas, os processos ventrais da cintura escapular tendem a ser mais desenvolvidos (Depecker *et al.*, 2006). Isto é, nessas espécies, geralmente, o coracoide (e, em alguns casos, o processo acromial) é mais espesso e alongado em relação ao processo escapular. Essa característica está associada a especialização para o ambiente aquático, a ancoragem muscular e a vantagem mecânica na movimentação dos membros anteriores, garantindo a eficiência do nado (Szalai, 1932-1933 *apud* Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2006).

As semiaquáticas que habitam pequenos corpos d'água com água parada são o grupo mais próximo das espécies terrestres. Essas espécies são mais generalistas (Depecker *et al.*, 2006), apresentando aptidão para a vida em meio terrestre e aquático em águas paradas ou de fluxo lento, como lagoas e brejos (Xiao *et al.*, 2023). Na morfologia do coracoide, o grupo (indivíduo referencia: *Mesoclemmys perplexa* (Bour; Zahed 2005) (MZUSP4273) apresenta

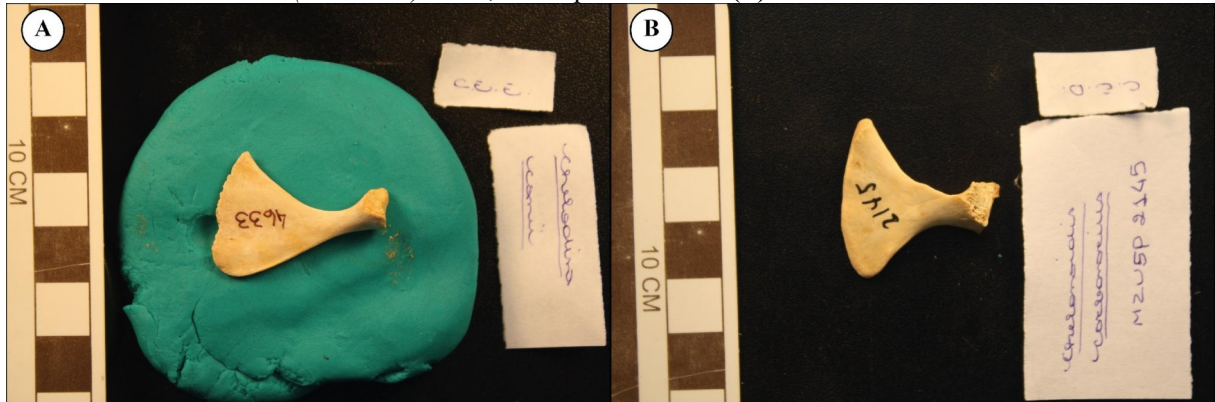
lâmina fina e pequena em comprimento. A região lateral é pouco desenvolvida e, em largura, se abre sutilmente a partir do colarinho até a borda medial, criando uma pequena curvatura na margem posterior. No entanto, a *Chelodina (Chelodina) canni* (McCord; Thomson 2002) (MZUSP4633), espécie semiaquática típica de grandes corpos d'água com água parada (McCord; Thomson, 2002), foi o indivíduo mais próximo das espécies terrestres, se distanciando da distribuição de seu grupo (subtipo de *habitat*). Na morfologia do coracoide (**Figura 23 (A)**), a *Chelodina (Chelodina) canni* apresenta certa semelhança com espécies terrestres (**Figura 23 (B)**), a lâmina se abre ao longo de seu comprimento de modo que a borda medial é consideravelmente maior que o colarinho. Contudo, a borda posterior acompanha o aumento gradual em largura da lâmina, evitando que a forma de leque, observada nas espécies terrestres, seja replicada nesse contexto. Além disso, a cavidade glenoide na espécie é bem menor e menos desenvolvida do que no grupo terrestre. Em hábito, a *Chelodina (Chelodina) canni* pode percorrer quilômetros em terra entre os corpos d'água que habita (Doupé *et al.*, 2009), o que reforça a boa aptidão para o meio terrestre sugerida pela morfologia do coracoide.

**Figura 22** – Vista dorsal do coracoide da (A) espécie terrestre *Chelonoidis carbonarius*; da (B) espécie semiaquática *Phrynops hilarii*; e da (C) espécie marinha *Chelonia mydas*.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

**Figura 23** – Vista dorsal do coracoide da espécie semiaquática de grandes corpos d’água com água parada (A) *Chelodina (Chelodina) canni*, e da espécie terrestre (B) *Chelonoidis carbonarius*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As espécies semiaquáticas de todos os corpos d’água, pertencentes à família Podocnemididae, encontram sua distribuição no eixo da PC1 próximas das espécies marinhas. O grupo das tartarugas marinhas apresenta o coracoide mais alongado e fino, em forma de remo (Depecker *et al.*, 2006), essa característica é compartilhada pelas semiaquáticas típicas de todos os corpos d’água doce (**Figura 24**) (indivíduo referência: *Peltocephalus dumerilianus* (MZUSP2753)). Em ambos os grupos, a borda medial apresenta pouca variação de largura em relação ao colarinho e a cavidade glenoide é pouco desenvolvida. Nas espécies marinhas, a borda posterior do coracoide é reta e a lâmina do coracoide é mais robusta e homogênea em sua superfície. Na família Podocnemididae (indivíduo referência: *Peltocephalus dumerilianus* (MZUSP3216)), habitantes de lagoas, pântanos, rios e tributários (Bour, 2008), a borda posterior e a lâmina do coracoide são levemente curvas, na qual a superfície ventral adquire conformação côncava e a superfície dorsal uma forma convexa. Apesar das diferenciações entre os grupos, os coracoide são bem desenvolvidos e grande em comprimento, característica presente nos Testudines altamente aquáticos, como apontado por Walker (1973) e Depecker *et al.* (2006), que reiteram a correlação entre coracoide longos e boas habilidades de nado.

A família Kinosternidae, aqui representadas pelas espécies *Kinosternon scorpioides* (Linnaeus 1766) e *Sternotherus odoratus* (Latreille *in* Sonnini; Latreille, 1801), se sobrepôs parcialmente à família Podocnemididae. Assim como a família Podocnemididae, a família Kinosternidae (indivíduo referência: *Kinosternon scorpioides* (MZUSP2003)) apresenta o coracoide alongado e quase tão estreito quanto o processo acromial. Além disso, apresentam a borda posterior e a lâmina do coracoide são levemente curvadas, com a superfície ventral côncava e a superfície dorsal convexa (**Figura 25**). Contudo, diferentemente dos membros de Podocnemididae, que aqui foram classificados como semiaquáticos encontrados em todos os

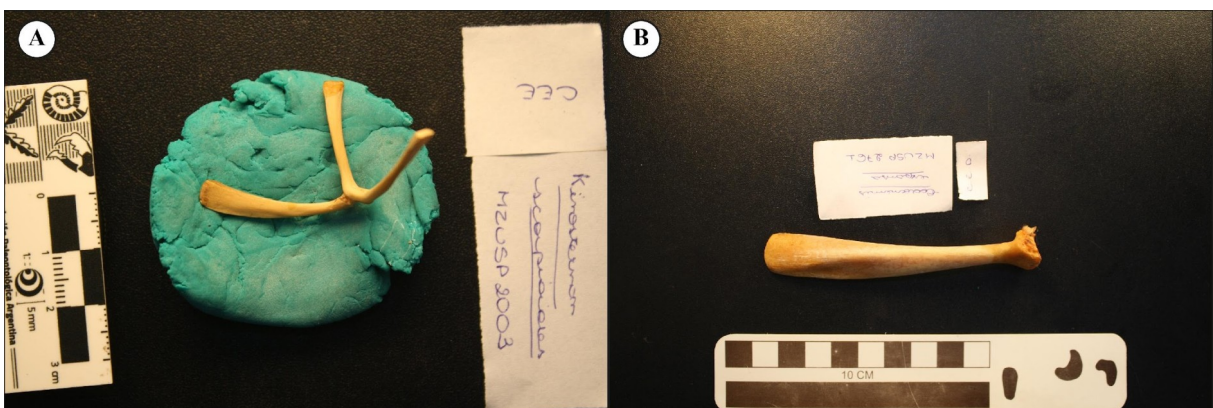
corpos d'água doce, as espécies *Kinosternon scorpioides* e *Sternotherus odoratus* foram classificadas como semiaquáticas de pequenos corpos d'água com água parada (Xiao *et al.*, 2023). Eles são encontrados em águas de fluxo lento e fundo macio, como rios, córregos e lagos (Ernst; Barbour, 1989), além disso, quando fora de água (o que acontece regularmente), se adaptam bem em terra (Bour, 2008). No caso da *Kinosternon scorpioides*, em temporadas de secas, costumam se enterrar no sedimento lamacento até a época de chuva (Ernst; Barbour, 1989).

**Figura 24** – Vista dorsal do coracoide da espécie semiaquática (A) *Podocnemis expansa*, representante da família Podocnemididae, e da espécie marinha (B) *Chelonia mydas*, representante da família Cheloniidae.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 25** – Vista dorsal do coracoide das espécies semiaquáticas (A) *Kinosternon scorpioides*, representante da família Kinosternidae, e (B) *Podocnemis expansa*, representante da família Podocnemididae.

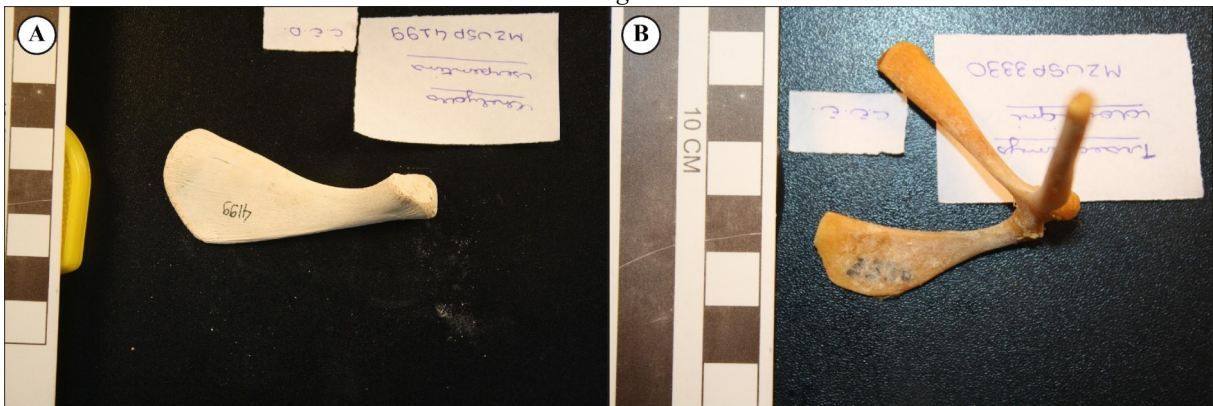


Fonte: Elaborado pelo autor.

A *Chelydra serpentina*, única espécie representante da família Chelydridae da amostra, foi disposta próxima das espécies da família Emydidae, aqui classificadas como típicas de grandes e pequenos corpos d'água com água parada. A *Chelydra serpentina*, apesar de designada ao grupo de pequenos corpos d'água com água parada por Xiao *et al.* (2023), apresenta hábito altamente aquático (Prichard, 1979; Ernst; Barbour, 1989). A espécie pode

ser geralmente encontrada no fundo de profundos corpos d'água, como rios de fluxo lento e lagos (Prichard, 1979; Ernst; Barbour, 1989), ou enterrado no solo lamacentos de águas mais rasas (Ernst; Barbour, 1989). Em terra, a *Chelydra serpentina* apresenta marcha lenta (Prichard, 1979), se mostrando pouco adaptada para esse hábito. Na morfologia, o coracoide apresenta certa semelhança com a espécie *Trachemys dorbigni* (família Emydidae) (**Figura 26**), com a lâmina espessa com curvas fluídas e comprimento e largura médias. A borda posterior é levemente curvada e a borda medial adquire uma forma consideravelmente arredondada. O colarinho também é bem curvo, dividindo a largura máxima do coracoide (borda medial) e a região da glenoide.

**Figura 26** – Vista dorsal do coracoide das espécies semiaquáticas (A) *Chelydra serpentina*, e (B) *Trachemys dorbigni*.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Chelidae é a família com a maior riqueza de espécies de Testudines atualmente (TTWG, 2021). A família é predominante na América do Sul (Souza, 2005; Bour 2008; TTWG, 2021) e é encontrada em ambientes dulcícolas de diferentes amplitudes e fluxos de água (Ernst; Barbour, 1989). Diante da grande diversidade de espécies dulcícolas que a família abriga, foram aqui classificadas, de acordo com o tipo de *habitat*, como semiaquática e, de acordo com o subtipo de *habitat*, como de pequenos corpos d'água com água parada, pequenos corpos d'água com água corrente, grandes corpos d'água com água parada, grandes corpos d'água com água corrente ou todos os corpos d'água. O indivíduo *Hydromedusa tectifera* (Cope 1870a) (MZUSP2126) (típica de grande corpo d'água com água corrente) foi o mais próximo da média da família e, por esse motivo, o exemplar foi utilizado para realizar a descrição do grupo (**Figura 27**). A lâmina do coracoide apresenta uma curvatura bem evidente ao longo do comprimento, de modo que a margem posterior adquire um ângulo arredondado. A borda medial apresenta uma forma de S, com um ponto de máxima e mínima

curvatura. Em comprimento e em largura, a estrutura é pequena. A área lateral, próxima da cavidade glenoide é pouco desenvolvida, tal como nas espécies mais aquáticas (Walker, 1973; Depecker, 2006). Esse perfil morfológico é coerente com a família ser predominante composta por espécies de hábito altamente aquático, geralmente, deixando a água para atividades como nidificação e aquecimento corporal (Souza, 2005).

No PCA, os indivíduos terrestres se separaram bem dos demais tipos de *habitats*. Os semiaquáticos e totalmente aquáticos não se separam tão bem entre si, visto que as espécies marinhas se encontraram na margem da área de distribuição das espécies semiaquáticas. Nas classificações dos subtipos de hábitos a partir da morfologia do coracoide, observa-se na PCA uma grande área de sobreposição de espécies semiaquáticas classificadas como de grandes corpos d'água com água corrente, grandes corpos d'água com água parada, pequenos corpos d'água com água corrente e pequenos corpos d'água com água parada. Ainda, há uma pequena área de sobreposição dos grupos citados com as espécies de todos os corpos d'água doce. A distribuição dos grupos, no eixo do PC1, a partir das famílias, foi o que melhor separou as espécies, especialmente as semiaquáticas, havendo pouca sobreposição entre grupos. Os testes estatísticos confirmaram parcialmente as interpretações a partir das análises exploratórias: o coracoide das espécies terrestres se diferenciam significativamente das aquáticas e semiaquáticas; as espécies de terras planas (terrestres) se diferenciaram das espécies de pequenos e grandes corpos d'água com água parada, grandes corpos d'água com água corrente e todos os corpos d'água (semiaquáticas); a família Testudinidae se difere das famílias Chelidae, Podocnemididae e Emydidae, e a família Podocnemididae se difere de Chelidae, Emydidae e Testudinidae. Esses resultados inferem que a classificação escolhida para a separação das espécies de acordo com o subtipo de *habitat* parece não ser eficiente para separar os Testudines semiaquáticos a partir da morfologia do coracoide. A classificação foi usada anteriormente em um estudo com carapaça por Xiao *et al.* (2023) e o resultado obtido nas semiaquáticas sugeriram que a filogenia poderia ser um fator de influência na variação morfológica das carapaças (Xiao *et al.*, 2023). Essa observação é congruente com os resultados das análises do coracoide, em que a classificação a partir das famílias foi o que melhor dividiu as espécies.

**Figura 27** – Vista dorsal do coracoide da espécie semiaquática *Hydromedusa tectifera*, família Chelidae.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os testes feitos para o tamanho do coracoide indicam que as espécies aquáticas se mostraram significativamente diferentes das espécies terrestres e semiaquáticas. As espécies marinhas se apresentaram consideravelmente maior que as espécies dos demais hábitos aqui descritos, o que lhes garante vantagem mecânica no nado, no que se refere a ancoragem muscular e movimentação dorsoventral dos membros (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2006; Dickson; Pierce, 2019). Entre as semiaquáticas, as diferenças de tamanho são menos evidentes. Apenas as espécies presentes em todos os tipos de corpos d'água e em grandes corpos d'água com água corrente se distinguiram dos grupos terrestres e de outras semiaquáticas. Isso é, há uma clara diferenciação entre as espécies semiaquáticas mais adaptadas para o nado em grandes áreas de água e/ou de fluxo rápido das espécies típicas de terra e de pequenas áreas de água, de fluxo lento ou parado. Geralmente, espécies pequenas tendem a viver em pequenas colunas de água, enquanto que espécies grandes tendem a habitar grandes colunas de água (Xiao *et al.*, 2023). Em relação às famílias, apenas Podocnemididae se diferenciou de Chelidae, Emydidae e Testudinidae. A família Podocnemididae apresenta coracoide maior do que as demais, característica associada com o fato da família, especialmente as espécies do gênero *Podocnemis* (Wagler 1830b), serem mais aquáticas, com alta capacidade de dispersão (Valenzuela, 2001; Souza, 2005).

#### 4.2.2 Escápula

De acordo com a PCA da escápula, a partir do tipo de *habitat*, as espécies terrestres se distinguem das espécies de hábitos marinhos e semiaquáticos. A *Chelonoidis carbonarius* (MZUSP4164) é o exemplar que mais se aproximou da média dos terrestres, portanto, o indivíduo é o mais adequado para uma descrição confiável do grupo (**Figura 28**). As espécies terrestres apresentam a escápula robusta, verticalizada e com o processo escapular dorsal evidentemente maior que o processo acromial. Isso se justifica pela necessidade de sustentação do peso em ambiente terrestre (Walker, 1971; Depecker *et al.*, 2006). Em função dessa demanda funcional, os elementos musculares da locomoção são mais desenvolvidos verticalmente (Jays; Alexander, 1980; Van Leeuwen *et al.*, 1981; Depecker *et al.*, 2006). O processo acromial é pouco desenvolvido, com a borda medial mais fina que a borda dorsal do processo escapular. Os processos se situam em um ângulo obtuso, variando em torno de 113° (**Apêndice E**). Nas espécies terrestres, a área correspondente à cavidade glenoide é altamente desenvolvida, como observado por Depecker *et al.* (2006), o que permite que a cintura escapular acompanhe a movimentação do membro e aumente a amplitude, fornecendo, conseqüentemente, uma excursão compatível à do membro posterior que, geralmente, é mais longo (Walker, 1973; Schmidt; Mehlhorn; Fischer, 2016).

Entre as espécies marinhas, a *Chelonia mydas* (MZUFV0068) também se distancia consideravelmente dos demais grupos. A *Caretta caretta* (MZUSP2796), se encontra próximo à parte do grupo semiaquático, se aproximando da distribuição da espécie *Hydromedusa maximiliani* (Mikan 1825). Nas *Caretta caretta*, o processo escapular dorsal é robusto e corresponde a cerca de 1,5 vezes o tamanho do processo acromial (**Apêndice E**), que também é robusto, mas evidentemente mais desenvolvido que o processo escapular dorsal, apresentando espessura pouco menor que o coracoide na espécie. O ângulo entre os processos da escápula também se assemelham mais ao grupo semiaquático (**Figura 29**), variando por volta de 109° (**Apêndice E**). Segundo as análises de Depecker *et al.* (2006), a cintura escapular da *Caretta caretta* aparenta ser menos especialista ao nado que as demais espécies marinhas, se aproximando morfológicamente das semiaquáticas altamente aquáticas. A *Chelonia mydas* é, portanto, o indivíduo que melhor descreve a morfologia do grupo das espécies marinhas na amostra. Os processos escapulares são muito similares em tamanho e largura, se diferenciando sutilmente pela largura da parte distal dos processos, onde percebe-se que o processo acromial é pouco mais largo que o processo escapular dorsal. Os processos se situam em um ângulo obtuso de cerca de 130° (**Apêndice E**). A região proximal, onde se forma a cavidade glenoide, é menos desenvolvida que nas espécies terrestres, visto que não

exercem a função de ampliar a excursão do membro durante a locomoção nas espécies marinhas, como acontece em meio terrestre (Walker, 1973; Schmitd; Mehlhorn; Fischer, 2016).

O grupo de espécies semiaquáticas é bastante diverso, compreendendo espécies de 5 famílias e 5 subtipos de *habitats* da amostra. Diante disso, a *Mesoclemmys gibba* (Schweigger 1812) (MZUSP2941), indivíduo mais próximo da média do grupo, é a referência mais confiável descrever a escápula das espécies semiaquáticas (**Figura 30**). A *Mesoclemmys gibba*, espécie da família Chelidae, é típica de pequenos corpos d'água com água parada e, geralmente, é encontrada em brejos, lagoas rasas, córregos e rios de água preta em áreas com vegetação marginal (Ernst; Barbour, 1989; Sanches *et al.*, 2020). Nessa espécie, o processo escapular dorsal é verticalizado e consideravelmente maior que o processo acromial. Os processos são finos e se situam perpendicularmente, a um ângulo de 90°. A cavidade glenoide é relativamente bem desenvolvida nessa espécie. Outras espécies que se destacam no grupo das semiaquáticas são *Hydromedusa maximiliani* e *Chelydra serpentina*, que se aproximam mais de espécies marinhas e terrestres, respectivamente, que das demais espécies dulcícolas da amostra.

**Figura 28** – Vista posterior das escápulas da espécie semiaquática (A) *Chelydra serpentina*, e da espécie terrestre (B) *Chelonoidis carbonarius*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 29** – Vista posterior das escápulas das espécies marinhas (A) *Chelonia mydas* e (B) *Caretta caretta*, e da espécie semiaquática (C) *Hydromedusa maximiliani*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A *Hydromedusa maximiliani*, classificada como semiaquática de grandes corpos d'água doce com água parada, geralmente, habita de corpos d'água de fluxo lento (Ernst; Barbour, 1989) e rasos, com uma topologia complexa que inclui cristas e vales no solo do fundo do corpo d'água, os quais geralmente são arenosos ou rochosos (Souza; Martins, 2009), portanto, não é uma espécie altamente aquática. A escápula da *Hydromedusa maximiliani* (**Figura 29**) compartilha semelhanças com a *Caretta caretta* no que diz respeito a proporção e angulação dos processos. O processo escapular dorsal é alongado e estreito. O processo acromial é menor e se assemelha ao processo escapular em espessura. O ângulo entre os processos da escápula é obtuso, variando por volta de  $100^\circ$  (**Apêndice E**), valor acima do esperado dentro do grupo Pleurodira (Walker, 1973). A espécie semiaquática *Chelydra serpentina*, da família Chelydridae, foi a que mais se aproximou das espécies terrestres de acordo com o *shape* da escápula. Segundo Prichard (1979) e Ernst & Barbour (1989), a *Chelydra serpentina* é altamente aquática, mas em sua rotina não exibe o hábito de nado, tampouco de marcha eficiente em ambiente terrestre (Prichard, 1979), sendo classificada como uma espécie típica de pequenos corpos d'água com água parada por Xiao *et al.* (2023). Contudo, é válido apontar que quando perturbadas, tem a habilidade de nadar rapidamente (Ernst; Barbour, 1989). Na *Chelydra serpentina*, a escápula (**Figura 28**) apresenta porte

robusto, onde o processo escapular dorsal mantém a espessura da base e o processo acromial é um pouco mais largo em sua borda medial. O processo escapular dorsal é notavelmente maior que o processo acromial. Em largura, o processo escapular é mais fino e tubular, enquanto o processo acromial é mais largo e achatado. Os processos escapulares se situam em um ângulo obtuso, aproximadamente  $107^\circ$  (**Apêndice E**). Nessa espécie, a área correspondente à cavidade glenoide parece bem desenvolvida, o que pode contribuir para o movimento de rasteio lento no fundo de corpos d'água, com lama e musgos, como rios de fluxo lento e lagos (Prichard, 1979; Ernst; Barbour, 1989), onde geralmente são encontradas.

**Figura 30** – Vista posterior da escápula da espécie semiaquática *Mesoclemmys gibba*, família Cheidae.



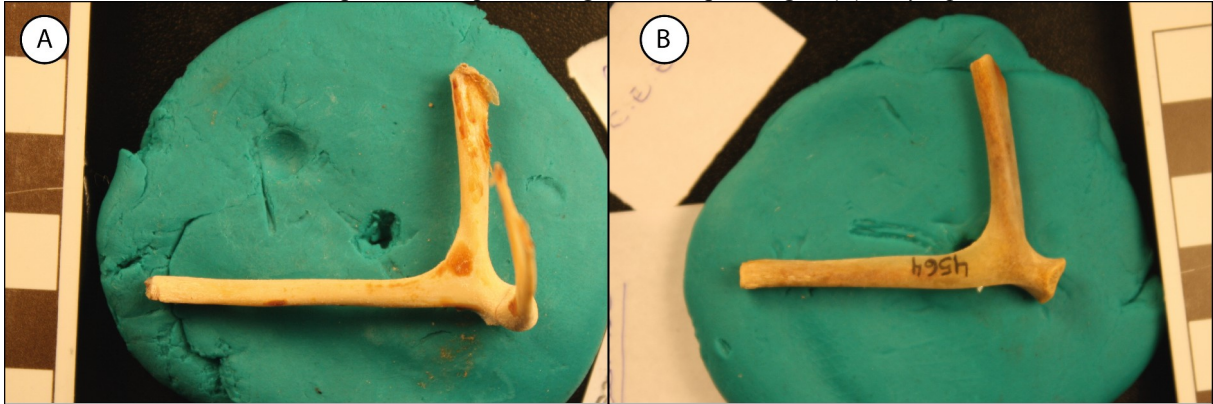
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Apesar da área de sobreposição dos subtipos de *habitats*, os grupos parecem dividir melhor a amostra pelas escápulas do que pelos coracoides. Dentre as subclassificações das semiaquáticas, nota-se, ao longo do eixo da PC2, um gradiente das espécies típicas de pequenos corpos d'água para as espécies de grandes corpos d'água. As espécies de todos os corpos d'água se aproximaram das espécies de pequenos corpos d'água com água corrente, sobrepondo parcialmente a área de distribuição do grupo. O mesmo aconteceu com o grupo de espécies de pequenos corpos d'água com água corrente, que tiveram parte da sua área de distribuição coincidindo com as espécies de grandes corpos d'água com água parada e corrente. A espécie *Mesoclemmys tuberculata* (Luederwaldt 1926) (MZUSP2928) é o exemplar mais próximo da média dos grupos de pequenos corpos d'água e, por esse motivo, representa uma descrição confiável dos indivíduos (**Figura 31**). Foram classificados nesses

grupos espécies típicas de ambientes dulcícolas com uma área pequena e água de fluxo rápido, como riachos, ou fluxo lento, ou parada, como lagoas e brejos (Xiao *et al.*, 2023). A escápula apresenta o processo escapular dorsal verticalizada, grande em comprimento e fina; o processo acromial apresenta a borda medial (distal) mais larga. Os processos escapulares se encontram perpendicularmente à cerca de 90°, pouco maior do que o observado por Walker (1973) nas espécies semiaquáticas da Subordem Pleurodira. A espécie *Phrynops williamsi* (Rhondin e Mittermeier 1983) (MZUSP4564) é o espécime que mais se aproxima da média dos grupos de grandes corpos d'água e, em função disso, descreve bem os indivíduos (**Figura 31**). Foram classificados nesses grupos espécies típicas de ambientes dulcícolas com uma área grande e água de fluxo rápido, como grandes rios, ou fluxo lento, ou parada, como lagos e reservatórios (Xiao *et al.*, 2023). A escápula é robusta e pequena, apresenta processo escapular maior em comprimento e processo acromial maior em largura, o que pode alguma vantagem em ambiente aquático (Depecker *et al.*, 2006). Os processos escapulares também se encontram a cerca de 90° um do outro nessa espécie.

A área de sobreposição entre os subtipos de *habitat* parece ocorrer pela proximidade entre indivíduos de uma mesma família. Isto é, os indivíduos de todos os corpos d'água doce, de pequenos corpos d'água com água corrente e de grandes corpos d'água com água parada e corrente que pertencem a família Chelidae se aproximaram. Isso sugere que, analogamente ao coracoide e à carapaça (Xiao, *et al.*, 2023), a filogenia pode ser um melhor fator explicativo para a variação morfológica observada na escápula dos Testudines. Nas análises exploratórias realizadas a partir do *shape* da escápula utilizando os grupos taxonômicos, houve uma diferenciação bastante evidente das famílias, com pouca ou nenhuma sobreposição entre os grupos. As espécies da família Kinosternidae se agruparam entre as famílias Podocnemididae e Chelidae. A família Emydidae se situou entre Chelidae e Testudinidae. Chelydridae, representada por uma única espécie (*Chelydra serpentina*), se situou mais próxima da família terrestre Testudinidae do que das demais famílias semiaquáticas. Cheloniidae teve seus representantes dispersos, com a *Caretta caretta* próxima da família Chelidae e a *Chelonia mydas* distante das demais famílias presentes na análise.

**Figura 31** – Vista posterior das escápulas da espécie semiaquática de pequenos corpos d'água (A) *Mesoclemmys tuberculata*, e da espécie semiaquática de grandes corpos d'água (B) *Phrynops williamsi*.



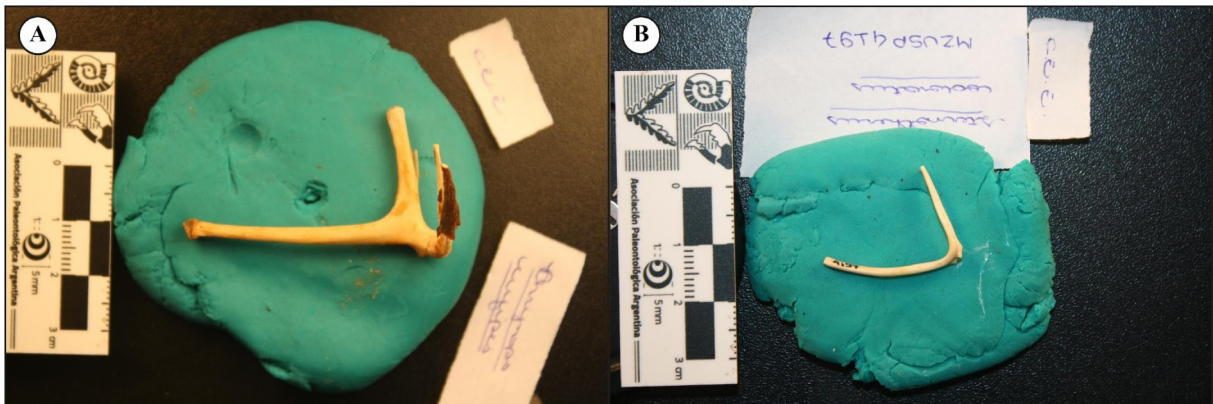
Fonte: Elaborado pelo autor.

Pela ecologia, a família Kinosternidae, geralmente, se encontra habitando brejos, pequenos rios e lagos (Ernst; Barbour, 1989; Bour, 2008) e, em função disso, foi aqui classificada como semiaquática típica de pequenos corpos d'água com água parada (Xiao *et al.*, 2023). A escápula do grupo (indivíduo referência: *Sternotherus odoratus* (MZUSP4198)) é distinta, apresentando os processos – escapular e acromial – extremamente finos e alongados. O processo escapular dorsal se distingue do processo acromial sendo maior e levemente curvado ao longo do seu comprimento. Os processos se situam em um ângulo agudo de, aproximadamente, 80° (Apêndice E) (Figura 32). A família Podocnemididae (indivíduo referência: *Peltocephalus dumerilianus* (MZUSP3139)) apresenta certas semelhanças morfológicas com a descrição da escápula da família Kinosternidae. O processo escapular dorsal é maior e levemente curvado ao longo do seu comprimento em relação ao processo acromial. Os processos se encontram em um ângulo agudo de, aproximadamente, 80° um em relação ao outro (Apêndice E) (Figura 32). Contudo, as espécies da família Podocnemididae costumam habitar lagoas, brejos, rios e tributários (Ernst; Barbour, 1989; Bour, 2008) e apresentam alta capacidade de dispersão em água (Valenzuela, 2001; Souza, 2005), sendo aqui classificada como típicas de grandes corpos d'água com água corrente ou todos os corpos d'água (Xiao *et al.*, 2023).

As espécies da família Emydidae podem variar entre apresentar preferência por ambientes dulcícolas ou terrestres (Pritchard, 1979; Ernst; Barbour, 1989; Bour, 2008), as espécies aqui amostrada foram classificadas em seus grupos ecológicos como semiaquáticas de pequenos ou grandes corpo d'água com água parada (Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004; Xiao *et al.*, 2023). A família (indivíduo referência: *Trachemys scripta* (Thunberg *in* Schoepff 1792) (MZUFV0148)) apresenta o processo escapular

consideravelmente maior que o processo acromial, com a parte distal (dorsal) mais desenvolvido e verticalizado. O processo escapular se localiza à cerca de  $100^\circ$  do processo acromial (**Apêndice E**), formando um ângulo levemente obtuso, maior do que geralmente se encontra em espécies semiaquáticas (Walker, 1973). Portanto, compartilha características de espécies bem adaptadas ao meio terrestre (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2006). A família Chelidae também é bastante diversa nas espécies que a compõem. Na amostra, a espécie *Phrynops williamsi* MZUSP4564 é o espécime que mais se aproxima da média do grupo das espécies de Chelidae e, em função disso, também descreve bem a família (**Figura 31**).

**Figura 32** – Vista posterior das escápulas das espécies semiaquáticas (A) *Rhiemys rufipes*, família Chelidae, e (B) *Sternotherus odoratus*, família Kinosternidae.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os testes estatísticos feitos a partir do PC1 (que representa 66,27% da variância) como variável de *shape* da escápula confirmaram parcialmente o que pode ser discutido a partir das análises exploratórias. As espécies do tipo de *habitat* terrestres se diferenciaram das espécies semiaquáticas. O subtipo de *habitat* terras planas se diferenciaram das espécies semiaquáticas de pequenos e grandes corpos d'água com água parada, grandes corpos d'água com água corrente e todos os corpos d'água. A família Testudinidae se diferenciou de Chelidae e Podocnemididae, e Chelidae se diferenciou das famílias Podocnemididae, Emydidae e Testudinidae. O grupo de Testudines de *habitat* marinho, pertencente à família Cheloniidae, não mostrou diferenciação dos demais grupos ecológicos ou taxonômicos. Os testes feitos a partir do PC2 (que representa 17,56% da variância) apontaram diferenças significativas compatíveis com o observado no eixo vertical do PCA da escápula. Não foram apontadas diferenças a partir do tipo de *habitat*. Para os subtipos de *habitats*, foram diagnosticadas diferenças entre as espécies de todos os corpos d'água com as espécies de grandes corpos d'água com água corrente, grandes corpos d'água com água parada e terras planas. Em

relação às famílias, Podocnemididae se diferenciou significativamente de Chelidae e Testudinidae.

Os testes feitos para tamanho não indicaram diferenciação entre os tipos de *habitats*. Entre as semiaquáticas, as subclassificadas como de todos os corpos d'água e de pequenos corpos d'água com água parada se mostraram significativamente diferentes. A família Podocnemididae também se diferencia das espécies da família Chelidae. A análise do *box-plot* a partir do tamanho do centroide das escápulas complementa essas informações e facilita a compreensão de que a escápula das espécies marinhas, pertencentes à família Cheloniidae, são consideravelmente maiores do que as espécies dos demais hábitos descritos. Entre as semiaquáticas, as espécies da família Podocnemididae e de todos os corpos d'água doce, se destacam apresentando escápula maior que as demais semiaquáticas e que as espécies terrestres. Diferentemente do coracoide, o tamanho da escápula está menos associado com a afinidade com água e alta habilidade de nado, visto que, geralmente, as escapulas são maiores em espécies terrestres e marinhas, grupos que tendem a apresentar maior tamanho corporal e carapaça mais abaulada do que as espécies semiaquáticas (Depecker *et al.*, 2006). A angulação entre o processo escapular e o processo acromial (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2006), assim como o grau de desenvolvimento dos processos escapulares (Walker, 1971; Jayes; Alexander, 1980; Van Leeuwen *et al.*, 1981; Depecker *et al.*, 2006) parecem ser as principais características da escápula associada a afinidade com água ou terra. Os processos ventrais (processo acromial e coracoide) mais desenvolvidos são encontrados nas espécies com maiores tendências aquáticas (Depecker *et al.*, 2006) e o processo dorsal mais desenvolvido está associado ao hábito mais terrestres (Jayes; Alexander, 1980; Van Leeuwen *et al.*, 1981; Depecker *et al.*, 2006). Geralmente, as famílias da Subordem Pleurodira (semiaquáticas), ou as famílias de Cryptodira que também exibem a carapaça menos abaulada (semiaquáticas), apresentam ângulo agudo (*i. e.* menor que 90°) entre os processos da escápula (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2006). As famílias Testudininae (terrestres), Cheloniidae (marinhas) e Dermochelyidae (marinhas), tendem a apresentar os processos escapulares com ângulo obtuso (*i. e.* maior que 90°) (Walker, 1973; Depecker *et al.*, 2006), chegando a 130° na espécie *Chelonia mydas* (**Apêndice E**) (Walker, 1973). Entretanto, a maioria das espécies apresenta a angulação entre os processos da escápula de cerca de 90° (Walker, 1973). Diante disso, depreende-se que o tamanho da escápula tangencia o hábito de vida em função da relação existente entre a curvatura da carapaça e o comprimento total do corpo com a ecologia das espécies.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados no presente trabalho corroboraram discussões de estudos anteriores que estabelecem a relação entre os autopódios com os hábitos ecológicos dos Testudines, incluindo os Pleurodiras nos padrões já observado em Cryptodira. A partir das medidas e proporções dos membros anteriores, depreende-se que as menores proporções dos autopódios são correspondentes às espécies terrestres, enquanto que, as maiores, são correspondes às espécies marinhas. Também, confirmaram as observações de que, juntamente aos autopódios, os estilopódios tendem a apresentar maior associação ao hábito de vida. Geralmente, os úmeros tendem a ser maior em comprimento em espécies que apresentam a carapaça abaulada e volumosa, como encontrado em espécies típicas de ambientes terrestres. As características morfológicas da cintura escapular de diferentes espécies se mostraram importantes preditores de aspectos inerentes à ecologia desses indivíduos. Os grupos mostraram variação do tamanho, sendo que as espécies marinhas foram as que mais se diferenciaram pelo tamanho em relação aos demais. Na escápula, o tamanho e o *shape* não apresentaram correlação, indicando pouco efeito alométrico. No coracoide, houve correlação entre as variáveis (tamanho e *shape*), sugerindo um efeito alométrico moderado no osso. A variação do *shape* observada nas análises indicam a tendência do coracoide de tornar-se maior em comprimento e menor em largura a medida que são mais especializados para o nado. Nas espécies terrestres, são menores em comprimento e mais larga na porção medial, assumindo a forma de um leque. A escápula, em espécies mais aquáticas, tende a apresentar o processo escapular mais curto e o processo acromial mais desenvolvido, de modo que, em alguns casos, os comprimentos entre os processos da escápula são bastante similares. Nas espécies terrestres, o processo escapular dorsal é mais longo que o processo acromial e verticalizado. Além disso, nas espécies terrestres, a cavidade glenoide se mostra mais desenvolvida, o que favorece a eficiência da marcha terrestre. A angulação entre os processos da escápula também se associaram aos hábitos ecológicos dos indivíduos, isto é, as proporções e os ângulos observadas nas escápulas são condizentes com a relação já estabelecidas em outros estudos com a forma da carapaça. Diante disso, é admissível afirmar que as espécies terrestres apresentando uma clara diferenciação da cintura escapular em relação aos demais grupos e as variações na morfologia da cintura são compatíveis com as adaptações dos membros anteriores. Entretanto, não há essa mesma evidência para espécies marinhas, que parecem apresentar diferenciação mais evidente a partir do membro anterior do que da cintura escapular. A classificação de subtipos de hábito adotada no estudo dividiu pouco os semiaquáticos, sendo que o grupo típico de todos os corpos d'água com água doce foi o que

mais se diferenciou das demais subclassificações das semiaquáticas. Os grupos de pequenos corpos d'água (com água parada e corrente) e os grupos de grandes corpos d'água (com água parada e corrente) se dividiram bem na análise da escápula, indicando uma possível proximidade morfológica entre espécies de acordo com a aptidão para a vida em amplas áreas de água. As áreas de sobreposição entre os grupos de diferentes subtipos de habitats parece ocorrer pela aproximação de espécies de uma mesma família com hábitos de vida de diferentes. Isso sugere que os melhores classificadores foram as famílias, ou seja, a filogenia parece ter uma influência maior na morfologia da cintura escapular do que os hábitos ecológicos, sendo eles gerais ou específicos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGIELCZYH, K. D.; BURROUGHS, R. W.; FELDMAN, C. R. Do turtles follow the rules? Latitudinal gradients in species richness, body size, and geographic range area of the world's turtles. **J. Exp. Zool. (Mol. Dev. Evol.)**, v. 324, n. 3, p. 270-294, 15 maio 2015. Wiley. DOI:
- BENSON, R. B. J.; DOMOKOS, G.; VÁRKONYI, P. L.; REISZ, R. R. Shell geometry and habitat determination in extinct and extant turtles (Reptilia: Testudinata). **Paleobiology**, v. 37, n. 4, p. 547-562, set. 2011. DOI: 10.1666/10052.1.
- BOOKSTEIN, F. L. **Morphometric tools for landmark data. Geometry and Biology**. New York: Cambridge University Press, 1991.
- BOUR, R. Global diversity of turtles (Chelonii; Reptilia) in freshwater. In: BALIAN, E.V.; LÉVÊQUE, C.; SEGERS, H.; MARTENS, K. (eds.) **Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology**, v. 198, p. 593-598, 2008. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-1-4020-8259-7\_57.
- BUHLMANN, K. A. *et al.* A Global Analysis of Tortoise and Freshwater Turtle Distributions with Identification of Priority Conservation Areas. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 8, n. 2, p. 116-149, dez. 2009. DOI: 10.2744/CCB-0774.1.
- CLAUDE, J.; PARADIS E.; TONG H.; AUFFRAY J. C. A geometric morphometric assessment of the effects of environment and cladogenesis on the evolution of the turtle shell. **Biological Journal of the Linnean Society**, v. 79, n. 3, p. 485-501, 1 jul. 2003. DOI: 10.1046/j.1095-8312.2003.00198.x.
- DEPECKER, M.; BERGE C.; PENIN X.; RENOUS S. Geometric morphometrics of the shoulder girdle in extant turtles (Chelonii). **Journal of Anatomy**, v. 208, n. 1, p. 35-45, jan. 2006. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2006.00512.x.
- DEPECKER, M.; RENOUS, S.; PENIN, X.; BERGE, C. Procrustes analysis: a tool to understand shape changes of the humerus in turtles (Chelonii). **Comptes Rendus Palevol**, v. 5, n. 3-4, p. 509-518, mar. 2006. Museum National D'Histoire Naturelle. DOI: 10.1016/j.crpv.2005.01.003.
- DICKSON, B. V.; PIERCE, S. E. Functional performance of turtle humerus shape across an ecological adaptive landscape. **Evolution**, v. 73, n. 6, p. 1265-1277, 2 maio 2019. Wiley. DOI: 10.1111/evo.13747.
- DOUPE, R. G., SCHAFFER, J., KNOTT, M. J., & DICKY, P. W. A description of freshwater turtle habitat destruction by feral pigs in tropical north eastern Australia. **Herpetological Conservation and Biology**, v. 4, n. 3, p. 331-339, dez. 2009. Disponível em: <herpconbio.org/Volume\_4/Issue\_3/Doupe\_etal\_2009.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- DRYDEN, I. L.; MARDIA, K. V. **Statistical shape analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

DUDGEON, T. W.; LIVIUS, M. C. H.; ALFONSO, N.; TESSIER, S.; MALLON, J. C. A new model of forelimb ecomorphology for predicting the ancient habitats of fossil turtles. **Ecology and Evolution**, v. 11, n. 23, p. 17071-17079, dez. 2021. Wiley. DOI: 10.1002/ece3.8345.

ENNEN, J. R *et al.* Turtle biogeography: Global regionalization and conservation priorities. **Biologica Conservation**, v. 241, p. 108323, jan. 2020. DOI: 10.1016/j.biocon.2019.108323.

ENNEN, J. R *et al.* A watershed moment: Analysis of sub-basins refocuses the geography of turtle conservation across the globe. **Biologica Conservation**, v. 253, p. 108925, jan. 2021. DOI: 10.1016/j.biocon.2020.108925.

ERNST, C. H.; BARBOUR, R. W. **Turtles of the world**. Washington, D.C. And London: Smithsonian Institution Press, 1989.

GILBERT, S. F.; LOREDO, G. A.; BRUKMAN, A.; BURKEC, A. C. Morphogenesis of the turtle shell: the development of a novel structure in tetrapod evolution. **Evolution & Development**, v. 3, n. 2, p. 47-119, 20 dez. 2001. Wiley. DOI: 10.1046/j.1525-142x.2001.003002047.x.

GUEDES, T. B.; ENTIAUSPE-NETO, O. M.; COSTA, H. C. Lista de répteis do Brasil: atualização de 2022. **Herpetologia Brasileira**, v. 12, n. 1, p. 56-161, 12 jun. 2023. Zenodo. DOI: 10.5281/ZENODO.7829013.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**. v. 4, n 1, p. 4-9. jun. 2001. Disponível em: <[http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)>. Acesso em: 20 fev. 2025.

HERMANSON, G.; ARNAL, F. A. M.; SZCZYGIELSKI, T.; EVERS, S. W. A systematic comparative description of extant turtle humeri, with comments on humerus disparity and evolution based on fossil comparisons. **The Anatomical Record**, v. 307, n. 11, p. 3437-3505, 8 maio 2024. Wiley. DOI: 10.1002/ar.25450.

HERMANSON, G.; BENSON, R. B. J.; FARINA, B. M.; FERREIRA, G. F.; LANGER, M. C.; EVERS, S. W. Cranial ecomorphology of turtles and neck retraction as a possible trigger of ecological diversification. **Evolution**, v. 76, n. 11, p. 2479-2481, 1 nov. 2022. Wiley. DOI: 10.1111/evo.14629.

HICKMAN-JUNIOR, C. P.; ROBERTS, L. S.; KEEN, S.L. **Princípios integrados de Zoologia**, 16. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

JACKSON, D. A. Stopping rules in principal components analysis: a comparison of heuristical and statistical approaches. **Ecology**, v. 74, n. 8, p. 2204-2214, 1 dez. 1993. Wiley. DOI: 10.2307/1939574.

JAFFE, A. L.; SLATER, G. J.; ALFARO, M. E. The evolution of island gigantism and body size variation in tortoises and turtles. **Bio. Lett**, v. 7, n. 4, p. 558-561, 26 jan. 2011. DOI: 10.1098/rsbl.2010.1084.

JAYES, A. S.; ALEXANDER, R. McN. The gaits of chelonians: walking techniques for very low speed. **Journal of Zoology**, v. 191, n. 3, p. 293-433, jul. 1980. Wiley. DOI: 10.1111/j.1469-7998.1980.tb01464.x.

JOYCE, W. G.; GAUTHIER, J. A. Palaeoecology of Triassic stem turtles sheds new light on turtle origins. **Proceedings of the Royal Society of London**. Series B: Biological Sciences, v. 271, n. 1534, p. 1-5, 7 jan. 2004. DOI: 10.1098/rspb.2003.2523.

KARDONG, K. V. **Vertebrados: Anatomia Comparada, função e evolução**. 7ed. São Paulo: Roca, 2016.

LYSON, T. K., *et al.* Homology of the enigmatic nuchal bone reveals novel reorganization of the shoulder girdle in the evolution of the turtle shell. **Evolution & Development**, v. 15, n. 5, p. 317-386, set./out. 2013. Wiley. DOI: 10.1111/ede.12041.

MAYERL, C. J.; BRAINERD, E. L. ; BLOB, R. E. Pelvic girdle mobility of cryptodire and pleurodire turtles during walking and swimming. **Journal of Experimental Biology**, v. 219, n. 17, p. 2650-2658, set. 2016. DOI:10.1242/jeb.141622.

MCCORD, W. P.; THOMSON, S. A. A New Species of *Chelodina* (Testudines: Pleurodira: Chelidae) from Northern Australia. **J. of Herpetology**, v. 36, n. 2, p. 255-267, jun. 2002. DOI: 10.1670/0022-1511(2002)036[0255:ANSOCT]2.0.CO;2.

MITTERMEIER, R. A.; VAN DIJK, P. P.; RHODIN A. G. J.; NASH, S.D. Turtle Hotspots: An Analysis of the Occurrence of Tortoises and Freshwater Turtles in Biodiversity Hotspots, High-Biodiversity Wilderness Areas, and Turtle Priority Areas. **Chelonian Conservation and Biology**, v. 14, n. 1, p. 2-10, jun. 2015. DOI: 10.2744/ccab-14-01-2-10.1.

NAGASHIMA, H; SUGAHARA, F.; TAKECHI, M.; SATO, N.; KURATANI, S. On the Homology of the Shoulder Girdle in Turtles. **J. Exp. Zool. (Mol. Dev. Evol.)**, v. 324B, n. 3, p. 244-254, jul. 2014. Wiley. DOI: 10.1002/jez.b.22584.

NAGASHIMA, H. *et al.* Origin of the unique morphology of the shoulder girdle in turtles. **Journal Of Anatomy**, v. 223, n. 6, p. 547-556, 30 set. 2013. Wiley. DOI: 10.1111/joa.12116.

POUGH, F. H.; JANIS C. M.; HEISER J. H. **A vida dos vertebrados**. 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.

PRITCHARD, P. C. H. **Encyclopedia of turtles**. Neptune, NJ: T. F. H. Publications. 1979.

RASBAND, W.; FERREIRA, T. **ImageJ**. Versão 1.46 r. National Institutes of Health, USA, 1997.

ROHLF, F. J. **TpsDig2w64**, digitize landmarks and outlines. Versão 2.32. State University of New York at Stony Brook, New York, 2016.

ROHLF, F. J. **TpsRelw32**. Versão 1.75. Department of Ecology and Evolution. State University of New York at Stony Brook, New York, NY, 2017.

ROHLF, F. J.; SLICE, D. Extensions of the Procrustes Method for the Optimal Superimposition of Landmarks. **Systematic Zoology**, v. 39, n. 1, p. 40-59, mar. 1990. Oxford University Press (OUP). DOI: 10.2307/2992207.

- ROHLF, F. The tps series of software. **Hystrix, The Italian Journal Of Mammalogy**, v. 26, n. 1, p. 1-4, 19 maio 2015. Associazione Teriologica Italiana. DOI: 10.4404/hystrix-26.1-11264.
- SANCHES, P. R.; PEDROSOS-SANTOS, F.; FIGUEIREDO, V. A.M. B.; TAVARES-PINHEIRO, R.; COSTA-CAMPOS, C. E. New record of *Mesoclemmys gibba* (Schweigger, 1812) (Testudines, Chelidae) for the state of Amapá, northern Brazil. **Herpetology Notes**, v. 13, p. 947-949, 26 nov, 2020. Disponível em: <<https://www.biotaxa.org/hn/issue/view/8482>>. Acesso em: 04 mar. 2025.
- SCHMIDT, M.; MEHLHORN, M.; FISCHER, M. S. Shoulder girdle rotation, forelimb movement, and the influence of carapace shape on locomotion in *Testudo hermanni* (Testudinidae). **Journal Of Experimental Biology**, v. 219, n. 17, p. 2693-2703, 2016. The Company of Biologists. DOI: 10.1242/jeb.137059.
- SOUZA, F. L. Geographical distribution patterns of South American side-necked turtles (Chelidae), with emphasis on Brazilian species. **Rev. Esp. Herp.** v. 19, n. 1, p. 33-46, abr. 2005. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2043312>>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- SOUZA, F. L.; MARTINS, F. I. *Hydromedusa maximiliani* (Mikan 1825) – Maximilian’s Snake-Necked Turtle, Brazilian Snake-Necked Turtle. In: RHODIN, A.G.J.; PRITCHARD, P.C.H.; VAN DIJK, P.P.; SAUMURE, R.A.; BUHLMANN, K.A.; IVERSON, J.B.;
- MITTERMEIER, R.A. (eds.). **Conservation Biology of Freshwater Turtles and Tortoises: A Compilation Project of the IUCN/SSC Tortoise and Freshwater Turtle Specialist Group**. Chelonian Research Monographs, n. 5, p. 026.1026.6, 6 out. 2009. DOI: 10.3854/crm.5.026.maximiliani.v1.2009.
- TTWG – TURTLE TAXONOMY WORKING GROUP. 2021. **Turtles of the World: Annotated Checklist and Atlas of Taxonomy, Synonymy, Distribution, and Conservation Status**. 9. ed. [S.L.]: 2021. Chelonian Research Monography, n. 8, p. 1-472. DOI: 10.3854/crm.8.checklist.atlas.
- VALENZUELA, N. Genetic Differentiation among Nesting Beaches in the Highly Migratory Giant River Turtle (*Podocnemis expansa*) from Colombia. **Herpetologica**, v. 57, n.1, p. 48-57, mar. 2001. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/3893138>>. Acesso em: 20 fev. 2025.
- VAN LEEWEN, J. L.; JAYES, A. S.; ALEXANDER, R. MCN. Estimates of mechanical stresses in tortoise leg muscles during walking. **J. Zool.**, v.195, p. 53-69, 1981. The Zoological Society of London. DOI: 10.1111/j.1469-7998.1981.tb01893.x.
- VANZOLINI, P. E.; RAMOS-COSTA A. M. M.; VITT, L. J. **Répteis das caatingas**. Academia Brasileira de Ciências: 1 jan. 1980.
- VICKARYOUS, M. K.; HALL B. K. Homology of the reptilian coracoid and a reappraisal of the evolution and development of the amniote pectoral apparatus. **Journal of Anatomy**. v. 208, n. 3, p. 263-414, mar. 2006. Wiley. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2006.00542.x.

WALKER W. F. A structural and functional analysis of walking in the turtle, *Chrysemys picta marginata*. **Journal of Morphology**, v. 134, n. 2, p. 195-213, jun.1971. Wiley. DOI: 10.1002/jmor.1051340205.

WALKER, W. F. The locomotor apparatus of Testudines. In: GANS, C.; PARSONS, T. (ed.). **Biology of the Reptilia: Morphology D.** v. IV. New York: Academic Press, 1973. p. 1-100.

WERNEBURG, I.; WILSON, L. A. B.; PARR, W. C. H.; JOYCE, W. G. Evolution of Neck Vertebral Shape and Neck Retraction at the Transition to Modern Turtles: an Integrated Geometric Morphometric Approach. **Syst. Biol.**, v. 64, n. 2, p.187-204, mar. 2015. DOI: 10.1093/sysbio/syu072.

XIAO, F.; LIN, Z.; WANG, J.; SHI, H. T. Shell shape-habitat correlations in extant turtles: a global-scale analysis. **Global Ecology And Conservation**, v. 46, e02543, out. 2023. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02543.

YOUNG, V. K. H.; BAEZA, J. A.; BLOB, R. W. Comparative limb bone scaling in turtles: Phylogenetic transitions with changes in functional demands? **Journal of Morphology**, v. 280, n. 4, p. 593-603, 27 fev. 2019. Wiley. DOI: 10.1002/jmor.20968.

YOUNG, V. K. H.; BLOB R. W. Limb bone loading in swimming turtles: changes in loading facilitate transitions from tubular to flipper-shaped limbs during aquatic invasions. **Biol. Lett.** v. 11, n. 6, p. 20150110, 01 jun. 2015. DOI: 10.1098/rsbl.2015.0110

YOUNG, V. K. H.; VEST, K. G.; RIVERA, A. R. V.; ESPINOZA, N. R.; BLOB, R. W. One foot out the door: limb function during swimming in terrestrial versus aquatic turtles. **Biology Letters**, v. 13, n. 1, p. 20160732, jan. 2017. The Royal Society. DOI: 10.1098/rsbl.2016.0732.

ZUG, G. R. Buoyancy, Locomotion, Morphology of the Pelvic Girdle and Hindlimb, and Systematics of Cryptodiran Turtles. **Miscel. Pub. Mus. Zool.** [S.L.], n. 142, p. 1-98, 21 mai. 1971. UniMichigan, in press.

ZUG, G. R. Locomotion and the morphology of the pelvic girdle and hindlimbs of cryptodiran turtles. Thesis (PhD in Zoology) – University of Michigan, Ann Arbor, 1969.

## APÊNDICE A – LISTA DA AMOSTRA ANALISADA

Espécie	Espécime	Família (Classificador 3)	Tipo de habitat (Classificador 1)	Subtipo de habitat (Classificador 2)	Referência	Ossos
<b>Pleurodira</b>						
<i>Acanthochelys spixii</i>	MZUFV0048	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Acanthochelys radiolata</i>	MZUFV0062	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Acanthochelys macrocephala</i>	MZUSP4648	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Rodiney de Arruda <i>et al.</i> , 2004; Mittermeier <i>et al.</i> , 2005	Coracoide, escápula
<i>Chelodina (Chelodina) canni</i>	MZUSP4633	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	McCord; Thomson, 2002	Úmero, escápula, coracoide
<i>Chelodina expansa</i>	USNM67733	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ercolano, 2008	Úmero, ulna
<i>Chelus fimbriatus</i>	USNM591746	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Lemell <i>et al.</i> , 2002; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero
<i>Chelus fimbriatus</i>	INPA24196	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Lemell <i>et al.</i> , 2003; Joyce; Gauthier, 2004;	Escápula
<i>Hydromedusa</i>	MZUFV0030	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna,

<i>maximiliani</i>				d'água com água parada		coracoide, escápula
<i>Hydromedusa maximiliani</i>	MZUFV0053	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Hydromedusa maximiliani</i>	MZUFV0055	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Hydromedusa maximiliani</i>	MZUFV0145	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, escápula
<i>Hydromedusa tectifera</i>	USNM15186	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna, mão
<i>Hydromedusa tectifera</i>	MZUSP4450	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Escápula
<i>Hydromedusa tectifera</i>	MZUSP2126	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Hydromedusa tectifera</i>	MZUSP4200	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Hydromedusa tectifera</i>	MZUSP4451	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna
<i>Hydromedusa tectifera</i>	USNM15189	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Coracoide

<i>Mesoclemmys gibba</i>	INPA45542	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Sanches <i>et al.</i> , 2020	Úmero, ulna
<i>Mesoclemmys gibba</i>	MZUSP2941	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Sanches <i>et al.</i> , 2020	Úmero, ulna, mão, escápula
<i>Mesoclemmys gibba</i>	MZUSP4558	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Sanches <i>et al.</i> , 2020	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Mesoclemmys gibba</i>	MZUSP4559	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Sanches <i>et al.</i> , 2020	Úmero, ulna
<i>Mesoclemmys heliostemma</i>	MZUSP2639	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Molina <i>et al.</i> , 2012	Úmero, ulna, mão
<i>Mesoclemmys perplexa</i>	MZUSP4272	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Mesoclemmys perplexa</i>	MZUSP4273	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Mesoclemmys raniceps</i>	MZUSP2834	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Brito <i>et al.</i> , 2019	Úmero, ulna, mão, escápula
<i>Mesoclemmys tuberculata</i>	MZUFV2928	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Mesoclemmys tuberculata</i>	MZUFV0046	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula

<i>Mesoclemmys tuberculata</i>	MZUSP2928	Chelidae	Semiaquática	parada Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Escápula
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0052	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0059	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, escápula
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0070	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0077	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0078	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0079	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0063	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Coracoide, escápula
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUSP4488	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Phrynops</i>	MZUSP4475	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna,

<i>geoffroanus</i>				d'água com água parada		coracoide, escápula
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUEL1674(A)	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4664	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4612	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4489	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4548	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP3321	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4524	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Phrynops hilarii</i>	MZUSP2787	Chelidae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Phrynops hilarii</i>	MZUSP4609	Chelidae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Phrynops</i> sp.	MZUSP2779	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água	Bour, 2008	Úmero

<i>Phrynops</i> sp.	MZUSP2062	Chelidae	Semiaquática	corrente Grande corpo d'água com água corrente	Bour, 2008	Úmero, coracoide, escápula
<i>Phrynops williamsi</i>	MZUSP4564	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Coracoide, escápula
<i>Platemys platycephala</i>	INPA P/ TOMBAR	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Champagne, 2022	Úmero, ulna
<i>Platemys platycephala</i>	MZUSP4611	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Champagne, 2022	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Platemys platycephala</i>	MZUFV0035	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Champagne, 2022	Úmero, ulna, mão
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0037	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Assis <i>et al.</i> , 2024	Úmero, ulna, mão
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0039	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Assis <i>et al.</i> , 2024	Úmero, ulna, escápula
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0050	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Assis <i>et al.</i> , 2024	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0051	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Assis <i>et al.</i> , 2024	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0120	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo	Assis <i>et al.</i> , 2024	Úmero, ulna, mão,

				d'água com água corrente		coracoide, escápula
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUSP4202	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Assis <i>et al.</i> , 2024	Coracoide, escápula
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUSP4803	Chelidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Assis <i>et al.</i> , 2024	Úmero, ulna, mão
<i>Rhiemys rufipes</i>	MZUSP3043	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989; Caputo; Vogt, 2008	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Rhiemys rufipes</i>	MZUSP3059	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989; Caputo; Vogt, 2008	Úmero, escápula
<i>Rhiemys rufipes</i>	MZUSP2139	Chelidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989; Caputo; Vogt, 2008	Úmero, ulna, mão
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP2926	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	De La Ossa V.; Vogt, 2010	Úmero, ulna
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP2753	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	De La Ossa V.; Vogt, 2010	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3139	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	De La Ossa V.; Vogt, 2010	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3216	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	De La Ossa V.; Vogt, 2010	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3137	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	De La Ossa V.; Vogt, 2010	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3138	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	De La Ossa V.; Vogt, 2010	Úmero, ulna, coracoide

<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	INPA25558	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	De La Ossa V.; Vogt, 2010	Coracoide
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	INPA12413	Podocnemididae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	INPA10329	Podocnemididae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Escápula
<i>Podocnemis erythrocephala</i>	INPA10268	Podocnemididae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, escápula
<i>Podocnemis expansa</i>	MZUSP2761	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, coracoide, escápula
<i>Podocnemis tuberculata</i>	MZUSP2969	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Escápula
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	INPA21932	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	MZUSP3218	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	MZUSP3217	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	MZUSP2926	Podocnemididae	Semiaquática	Todos os corpos d'água	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Coracoide
<i>Podocnemis unifilis</i>	INPA10021	Podocnemididae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna
<i>Podocnemis unifilis</i>	INPA11555	Podocnemididae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Ulna

<i>Podocnemis unifilis</i>	MZUSP3209	Podocnemididae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Ernst; Barbour, 1989	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Podocnemis</i> sp.	MZUSP2017	Podocnemididae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água corrente	Bour, 2008	Mão
<i>Pelomedusa subrufa</i>	USNM40248	Pelomedusidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Rodel, 1999	Úmero, ulna
<i>Pelomedusa subrufa</i>	USNM222469	Pelomedusidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Rodel, 1999	Úmero
<b>Cryptodira</b>						
<i>Pseudemys rubriventris</i>	MZUSP0106	Emydidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Trachemys dorbigni</i>	MZUSP3389	Emydidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Trachemys dorbigni</i>	MZUSP3330	Emydidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Trachemys dorbigni</i>	MZUSP3380	Emydidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Trachemys dorbigni</i>	MZUFV0108	Emydidae	Semiaquática	Grande corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Trachemys scripta</i>	MZUFV0071	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo	Ernst; Barbour,	Úmero, ulna,

				d'água com água parada	1989; Joyce; Gauthier, 2004	coracoide
<i>Trachemys scripta</i>	MZUFV0148	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, escápula
<i>Trachemys scripta</i>	MZUSP4251	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, coracoide
<i>Trachemys scripta</i>	MZUSP4248	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, mão, coracoide
<i>Trachemys scripta</i>	MZUSP4244	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Coracoide
<i>Trachemys scripta elegans</i>	MZUSP4435	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, mão, coracoide, escápula
<i>Trachemys scripta elegans</i>	MZUSP4439	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, mão
<i>Trachemys scripta elegans</i>	MZUSP4437	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, mão
<i>Trachemys scripta elegans</i>	MZUSP4430	Emydidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Kinosternon scorpioides</i>	MZUFV0043	Kinosternidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão

<i>Kinosternon scropioides</i>	MZUSP2003	Kinosternidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Coracoide, escápula
<i>Sternotherus odoratus</i>	MZUSP4197	Kinosternidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Sternotherus odoratus</i>	MZUSP4198	Kinosternidae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água parada	Ernst; Barbour, 1989; Joyce; Gauthier, 2004	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Chelydra serpentina</i>	MZUSP4199	Chelydridae	Semiaquática	Pequeno corpo d'água com água corrente	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, coracoide, escápula
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	INPA1226	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, escápula
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	MZUFV0144	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, escápula
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUFV0098	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, coracoide
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUFV0110	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP3068	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, coracoide, escápula
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4129	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4164	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4130	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, coracoide, escápula

<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4229	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, coracoide, escápula
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP2145	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, coracoide, escápula
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4132	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna, mão
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4131	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4175	Testudinidae	Terrestre	Terras planas	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Coracoide, escápula
<i>Chelonia mydas</i>	MZUFV0068	Cheloniidae	Marinha	Marinha	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Ulna, mão, coracoide, escápula
<i>Chelonia mydas</i>	MZUSP4380	Cheloniidae	Marinha	Marinha	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna
<i>Chelonia mydas</i>	MZUSP4096	Cheloniidae	Marinha	Marinha	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, ulna
<i>Chelonia mydas</i>	MZUSP4282	Cheloniidae	Marinha	Marinha	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Coracoide
<i>Caretta caretta</i>	MZUSP3220	Cheloniidae	Marinha	Marinha	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero
<i>Caretta caretta</i>	MZUSP2796	Cheloniidae	Marinha	Marinha	Xiao <i>et al.</i> , 2023	Úmero, coracoide, escápula

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

#### Referências Bibliográficas

ASSIS, C. L. Extensive sampling and citizen science expand the distribution of the threatened freshwater turtle *Ranacephala hoguei* (Mertens, 1967). **An Acad Bras Cienc.** v. 96, n. 1, e20240484, set. 2024. DOI: 10.1590/0001-3765202420240484.

BOUR, R. Global diversity of turtles (Chelonii; Reptilia) in freshwater. In: BALIAN, E.V.; LÉVÊQUE, C.; SEGERS, H.; MARTENS, K. (eds.) **Freshwater Animal Diversity Assessment. Developments in Hydrobiology**, v. 198, p. 593-598, 2008. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-1-4020-8259-7\_57.

CAPUTO, F. P.; VOGT, R. C. Stomach Flushing Vs. Fecal Analysis: The Example of *Phrynops rufipes* (Testudines: Chelidae). **Copeia**, v. 2008, n. 2, p. 301-305, jun. 2008. DOI:10.1643/CH-05-031

CHAMPAGNE, P. S. *Platemys platycephala* (Twist-necked Turtle). **Herpetological Review**, v. 53, n. 3, p. 490-491, set. 2022. Disponível em: <Herpetological Review PDFs – Society for the Study of Amphibians and Reptiles>. Acesso em: 04 mar. 2025.

DE LA OSSA V., J.; VOGT, R. C. Ecologia populacional de *Peltocephalus dumerilianus* (Testudines, Podocnemididae) em dois tributários do Rio Negro, Amazonas, Brasil. **Interciencia**, v. 36, n. 1, jan. 2011, p. 53-58. Asociación Interciencia. Disponível em: Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33917727008>>. Acesso em: 04 mar.2025.

ERCOLANO, E. Aquatic and Terrestrial Habitat Use of the Australian Freshwater Turtle, *Chelodina expansa*. **Independent Study Project (ISP) Collection**. v. 56, p. 1-32, 18 ago. 2008. Disponível em: <[https://digitalcollections.sit.edu/isp\\_collection/56](https://digitalcollections.sit.edu/isp_collection/56)>. Acesso em: 04 mar. 2025.

ERNST, C. H.; BARBOUR, R. W. **Turtles of the world**. Washington, D.C. And London: Smithsonian Institution Press, 1989.

JOYCE, W. G.; GAUTHIER, J. A. Palaeoecology of Triassic stem turtles sheds new light on turtle origins. **Proceedings of the Royal Society of London**. Series B: Biological Sciences, v. 271, n. 1534, p. 1-5, 7 jan. 2004. DOI: 10.1098/rspb.2003.2523.

LEMELL, P.; LEMELL, C.; SNELDERWAARD, P.; GUMPERNBERGER, M.; WOCHESLANDER, R.; WEISGRAM, J. Feeding patterns of *Chelus fimbriatus* (Pleurodira: Chelidae). **J Exp Biol**, v. 205, n. 10, p. 1495-1506, 15 maio 2002. DOI:10.1242/jeb.205.10.1495.

MCCORD, W. P.; THOMSON, S. A. A New Species of *Chelodina* (Testudines: Pleurodira: Chelidae) from Northern Australia. **J. of Herpetology**, v. 36, n. 2, p. 255-267, jun. 2002. DOI: 10.1670/0022-1511(2002)036[0255:ANSOCT]2.0.CO;2.

MITTERMEIER, R. A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; BRANDON, K. Uma breve história da conservação da biodiversidade no Brasil. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 14-21, jun. 2005. Disponível em: <[https://www.academia.edu/download/44822818/breve\\_historia\\_da\\_conservacao.pdf](https://www.academia.edu/download/44822818/breve_historia_da_conservacao.pdf)>. Acesso em: 04 mar. 2025.

RODINEY DE ARRUDA, M.; KINAS, M. A.; SOUZA, F. L.; GAPP, D. A.; et al. Natural History Notes: Testudines. **Herpetological Review**, v. 35, n. 3, p. 263-266, set. 2004. Disponível em: <Herpetological Review PDFs – Society for the Study of Amphibians and Reptiles>. Acesso em: 04 mar. 2025.

RÖDEL, M. O. Predation on tadpoles by hatchlings of the freshwater turtle. **Amphibia-Reptilia**, v. 20, n. 2, p. 173-183, jan. 1999. DOI: 10.1163/156853899X00187.

XIAO, F.; LIN, Z.; WANG, J.; SHI, H. T. Shell shape-habitat correlations in extant turtles: a global-scale analysis. **Global Ecology And Conservation**, v. 46, e02543, out. 2023. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.gecco.2023.e02543.

SANCHES, P. R.; PEDROSOS-SANTOS, F.; FIGUEIREDO, V. A.M. B.; TAVARES-PINHEIRO, R.; COSTA-CAMPOS, C. E. New record of *Mesoclemmys gibba* (Schweiggen, 1812) (Testudines, Chelidae) for the state of Amapá, northern Brazil. **Herpetology Notes**, v. 13, p. 947-949, 26 nov, 2020. Disponível em: <<https://www.biotaxa.org/hn/issue/view/8482>>. Acesso em: 04 mar. 2025.

## APÊNDICE B – PROTOCOLO PARA FOTOGRAFIA DA CINTURA ESCAPULAR DE TESTUDINES

### 1. OBJETIVO

O objetivo deste documento é estabelecer uma padronização das fotografias a serem feitas das cinturas escapulares de Testudines para estudos de morfometria geométrica e descrição osteológica. Este protocolo foi utilizado no processo de fotografia dos espécimes que compõem integralmente a amostra, inclusive nas utilizadas no teste de erro de posicionamento e digitalização, apresentado no **Apêndice C**.

### 2. PROTOCOLO

#### 2.1. Câmera

A câmera fotográfica utilizada é a Canon EOS500D (Digital Rebel T1i), equipada com uma lente de 55-170 mm, operando na função macro, a uma distância focal de 135 mm e posicionada a uma altura de 24 cm do objeto (espécime). A câmera deve estar acoplada a um tripé e ser posicionada de forma inclinada, perpendicularmente em relação ao material, em um ângulo de 90°.

#### 2.2. Material

As cinturas escapulares foram fotografadas, em sua maioria, desarticuladas. Diante disso, com o objetivo de capturar as imagens nos ângulos de interesse, as escápulas foram fotografadas em vista anterior, vista posterior (**Figura 1**) e vista lateral. Os coracoides foram fotografados em vista dorsal (**Figura 2**), vista ventral e vista lateral (**Figura 3**).

O material foi posicionado sobre uma massa de modelar, na cor verde, a fim de facilitar o posicionamento e visualização das estruturas ósseas, bem como criar contraste com o material ósseo. Além disso, faz-se necessário sempre incluir uma ficha de identificação junto ao material nas fotografias. A ficha de identificação contém as seguintes informações sobre cada exemplar: espécie, número de tombo e identificação dos ossos. Todas as fotografias incluem escala, posicionada na mesma altura do exemplar.

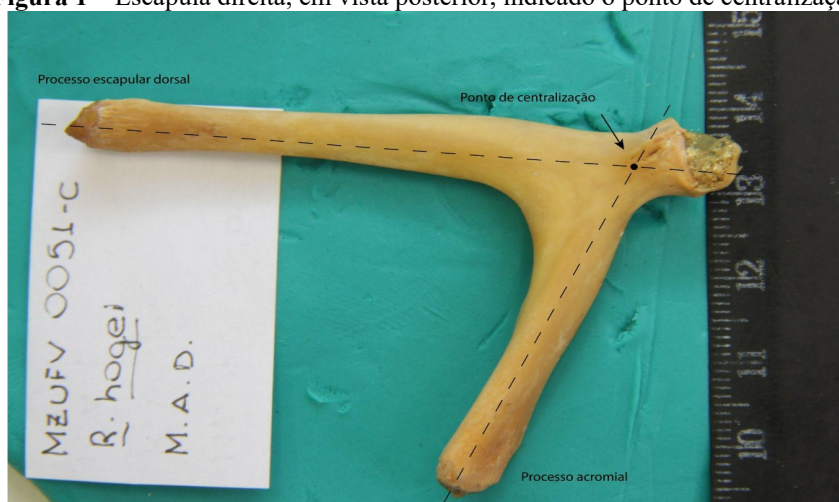
#### 2.3. Enquadramentos

##### 2.3.1. Vista anterior/posterior

**2.3.1.1. Centralização:** Nas fotografias em vista posterior e anterior das escápulas, a centralização deve ser feita no encontro dos eixos dos processos acromial e escapular dorsal.

**2. 3. 1. 2. Orientação:** O eixo do processo escapular dorsal deve estar reto em relação à lente da câmera, expondo a área de contato com o coracoide, onde há marcos anatômicos delimitando as extremidades da estrutura.

**Figura 1** – Escápula direita, em vista posterior, indicado o ponto de centralização.



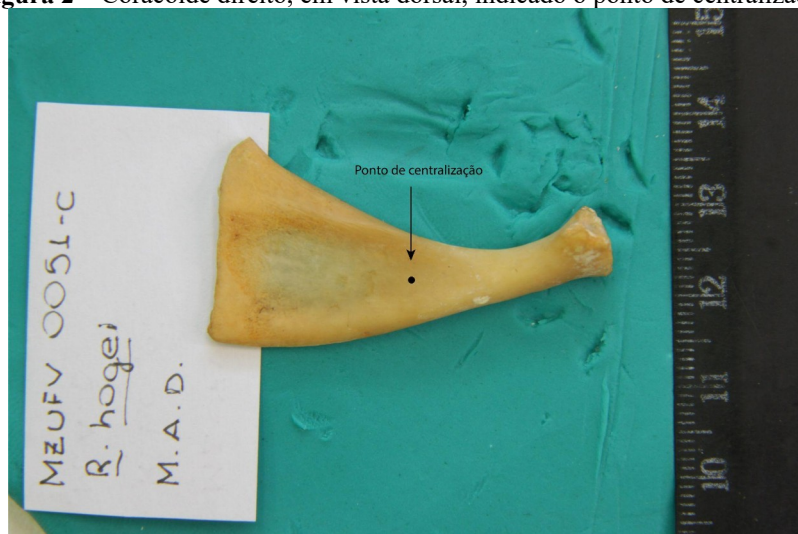
**Fonte:** Elaboração do autor.

### 2. 3. 2. Vista dorsal/ventral

**2. 3. 2. 1. Centralização:** Nas fotografias em vista dorsal e ventral dos coracoides, a centralização deve ser feita no centro da lâmina.

**2. 3. 2. 2. Orientação:** O eixo de centralização do coracoide deve estar reto em relação à lente da câmera, expondo a área de contato com a escápula, onde há marcos anatômicos delimitando as extremidades da estrutura.

**Figura 2** – Coracoide direito, em vista dorsal, indicado o ponto de centralização.



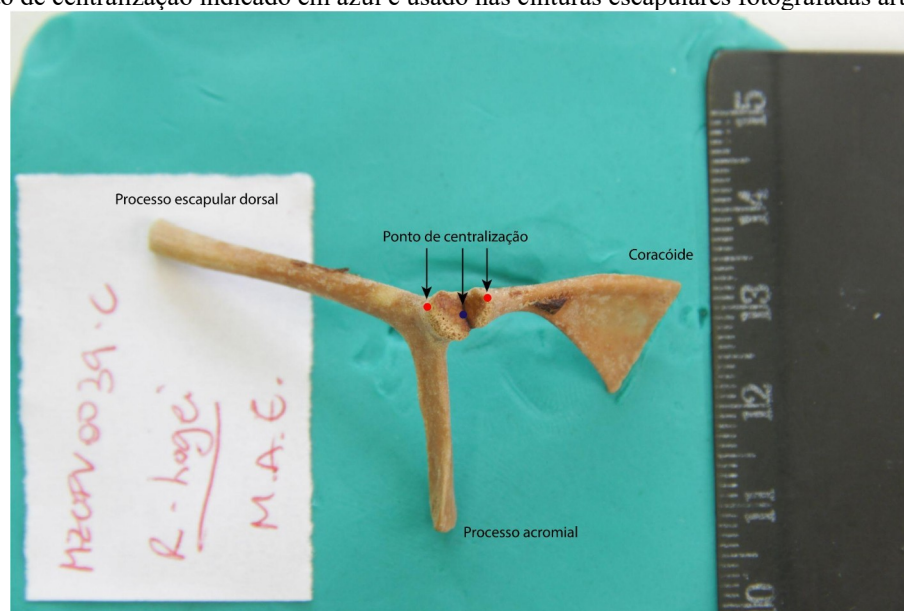
**Fonte:** Elaboração do autor.

### 2.3.3. Vista lateral

**2.3.3.1. Centralização:** Nas fotografias em vista lateral das cinturas escapulares articuladas, a centralização deve ser feita no encontro do coracoide com a escápula, onde se forma o centro da cavidade glenoide. Nas fotografias em vista lateral das cinturas escapulares desarticuladas, a centralização deve ser feita, no coracoide, na extremidade ventral da cavidade glenoide e, na escápula, na extremidade dorsal da cavidade glenoide.

**2.3.3.2. Orientação:** O eixo do processo acromial deve estar voltado para baixo, preservando a orientação descrita dos marcos anatômicos.

**Figura 3** – Cintura escapular esquerda articulada, em vista lateral, indicado os pontos de centralização. Os pontos de centralização indicados em vermelho são usados nas cinturas escapulares fotografadas desarticuladas. O ponto de centralização indicado em azul é usado nas cinturas escapulares fotografadas articuladas.



**Fonte:** Elaboração do autor.

## 3. MARCOS ANATÔMICOS

Os marcos anatômicos (LM) adotados foram adaptados de Depecker *et al.* (2006). A adaptação se fez necessária a fim de adequar os marcos definidos para análise da cintura escapular articulada ao uso em suas estruturas – escápula e coracoide – analisadas isoladamente. Para isso, novos números foram designados aos antigos marcos anatômicos (**Figura 4, 5 e 6; Tabela 1 e 2**). Além disso, os LM n° 4, da escápula, e n° 2, do coracoide, foram adicionados e o LM n° 3 do trabalho original, foi excluído.

### 3.1. Escápula

**Tabela 1** – Marcos anatômicos da escápula.

Nº	Descrição
1	Ângulo dorsal medial do processo escapular.
2	Ângulo dorsal lateral do processo escapular.
3	Base do processo escapular (curvatura máxima).
4	Extremidade anterior da cavidade glenoide.
5	Borda dorsal da cavidade glenoide (1/2 da altura total).
6	Limite entre o coracoide e o processo acromial (curvatura máxima).
7	Base do processo acromial (curvatura máxima).
8	Ângulo posterior medial do processo acromial.
9	Ângulo anterior medial do processo acromial.
10	Limite entre a escápula e o processo acromial (curvatura máxima).
11	Borda ventral da cavidade glenoide (1/2 da altura).

Fonte: Depecker *et al.* (2006) (adaptado).

#### 3. 1. 1. Vista posterior:

**Figura 4** – Marcos anatômicos em escápula direita em vista posterior.



Fonte: Elaboração do autor.

#### 3. 2. Coracoide

**Tabela 2** – Marcos anatômicos do coracoide.

Nº	Descrição
1	Ângulo anterior medial do coracoide.

---

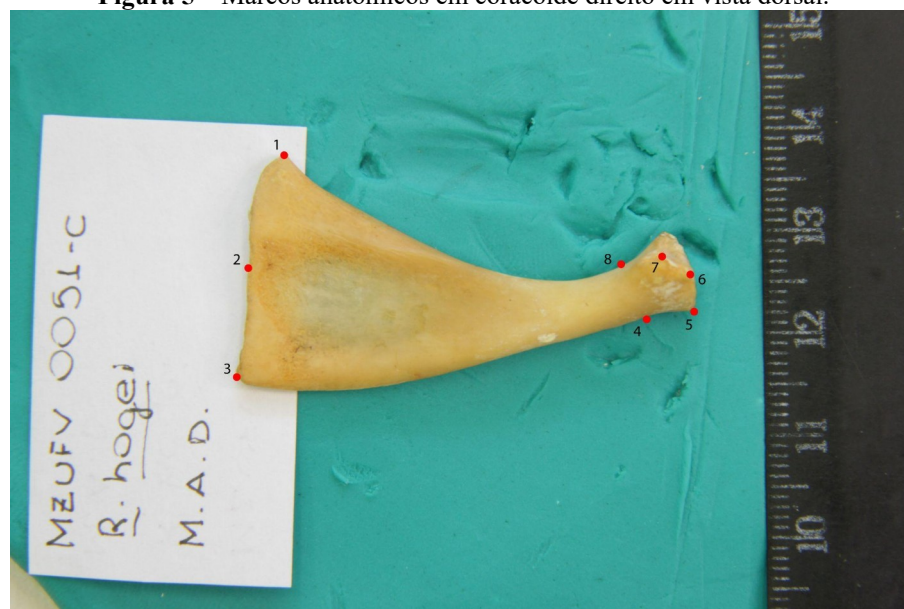
2	Borda medial do coracoide (curvatura máxima).
3	Ângulo posterior medial do coracoide
4	Borda posterior do coracoide (colarinho do coracoide).
5	Extremidade posterior da cavidade glenoide.
6	Borda dorsal da cavidade glenoide (1/2 da altura total).
7	Limite entre o coracoide e o processo acromial (curvatura máxima).
8	Borda anterior do coracoide (colarinho do coracoide).
9	Borda ventral da cavidade glenoide (1/2 da altura total).

---

Fonte: Depecker *et al.* (2006) (adaptado).

### 3. 2. 1. Vista dorsal

Figura 5 – Marcos anatômicos em coracoide direito em vista dorsal.

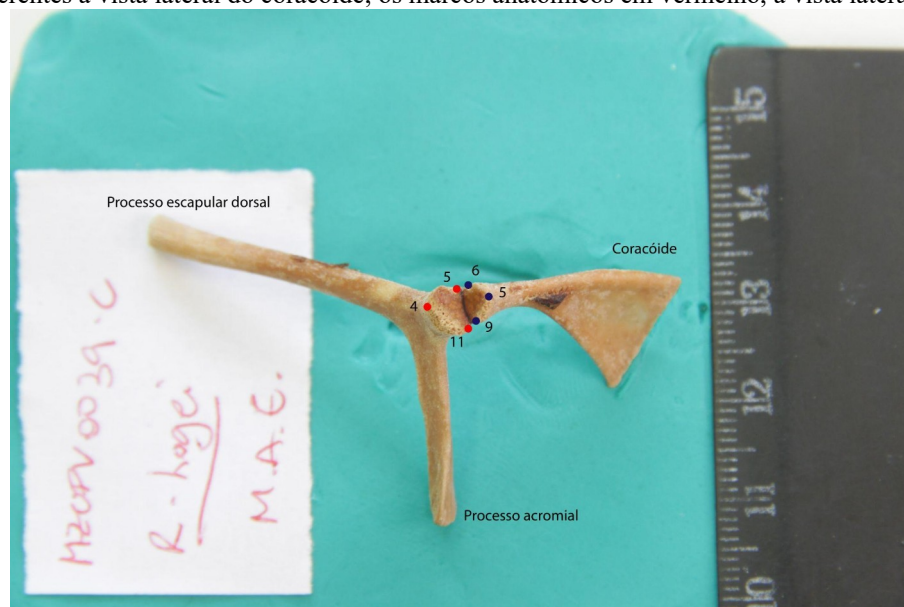


Fonte: Elaboração do autor.

### 3. 3. Escápula e coracoide

#### 3. 3. 1. Vista lateral

**Figura 6** – Marcos anatômicos em escápula e coracóide esquerdo em vista lateral. Os marcos anatômicos em azul são referentes à vista lateral do coracóide; os marcos anatômicos em vermelho, à vista lateral da escápula.



Fonte: Elaboração do autor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPECKER, M.; BERGE C.; PENIN X.; RENOUS S. Geometric morphometrics of the shoulder girdle in extant turtles (Chelonii). **Journal of Anatomy**, v. 208, n. 1, p. 35-45, jan. 2006. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2006.00512.x.

## APÊNDICE C – TESTE DE ERRO PARA MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DA CINTURA ESCAPULAR DE TESTUDINES

### 1 INTRODUÇÃO

É possível que erros, aleatórios ou sistemáticos, sejam cometidos nas técnicas de morfometria geométrica e, desse modo, incorporados aos seus resultados (Arnqvist; Martensson, 1998; Fruciano, 2016; Fox; Veneracion; Blois, 2020). Isso, por sua vez, afeta a precisão desses resultados e, conseqüentemente, das análises estatísticas feitas a partir deles (Yezerinac; Loughed; Handford, 1992; Arnqvist; Martensson, 1998; Fruciano, 2016). Para minimizar os erros cometidos ao longo dos processos metodológicos mecânicos, isto é, na digitalização (fotografia) dos exemplares e na marcação dos marcos anatômicos, é recomendável a realização de testes de erro (*e.g.* Yezerinac; Loughed; Handford, 1992; Fox; Veneracion; Blois, 2020), que permitirão averiguar se a metodologia aplicada é adequada antes que se dê continuidade ao trabalho. Desse modo, pode-se garantir uma maior confiabilidade dos resultados obtidos e análises mais precisas, pois, mesmo que não seja possível eliminar inteiramente o erro, é possível minimizá-lo e padronizá-lo.

Nesse caso, o teste de erro teve como objetivo verificar a precisão e eficiência dos marcos anatômicos definidos. Para a realização desse teste, foram selecionados 18 exemplares diferentes da coleção osteológica do Laboratório de Paleontologia e Osteologia Comparada (LAPOC), onde foram separados 13 Coracoides e 13 escápulas, e cada material selecionado foi fotografado duas vezes. Após a digitalização das réplicas (**Tabela 1**) para as análises, totalizaram 26 imagens do Coracoide e da escápula; duas de cada espécime.

Os marcos anatômicos foram previamente definidos, seguindo Depecker *et al.* (2006). A digitalização foi realizada no programa TpsDig v2.64 (Rohlf, 2015), o qual computa as coordenadas cartesianas para cada marco anatômico (Rohlf, 2015). As coordenadas passaram pela etapa de superimposição de Procrustes (Rohlf; Slice, 1990) por quadrados mínimos (GLS) e foram analisadas no programa PAST v4.03 (Hammer; Harper; Ryan, 2001), onde foram classificados dois grupos das réplicas (grupo 1 e 2) e fez-se uma Análise de Componentes Principais (PCA), a fim de explorar e visualizar a variação de forma entre os grupos presentes na amostra. Utilizando os scores significativos dos PCAs, fez-se os testes de normalidade e, posteriormente, testes paramétricos e/ou não paramétricos para avaliar se a variação entre os grupos é significativamente diferente. A hipótese nula é a de que não há diferença entre as variações dos grupos. Neste contexto, a expectativa é falhar em refutar a

hipótese nula, indicando que o posicionamento e a digitalização estão adequados e apresentam variação insignificante estatisticamente.

**Tabela 1** - Amostra selecionada para o teste de erro. Abreviação: MZUFV - Museu de Zoologia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

<b>Amostra - teste de erro</b>				
<b>Nº</b>	<b>Coracoide</b>		<b>Escápula</b>	
	<b>Amostra</b>	<b>Espécie</b>	<b>Amostra</b>	<b>Espécie</b>
1	MZUFV0035_1	<i>Platemys platycephala</i>	MZUFV0035_1	<i>Platemys platycephala</i>
2	MZUFV0035_2	<i>Platemys platycephala</i>	MZUFV0035_2	<i>Platemys platycephala</i>
3	MZUFV0037_1	<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0039_1	<i>Ranacephala hogei</i>
4	MZUFV0037_2	<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0039_2	<i>Ranacephala hogei</i>
5	MZUFV0046_1	<i>Mesoclemmys tuberculata</i>	MZUFV0043_1	<i>Kinosternon scorpioides</i>
6	MZUFV0046_2	<i>Mesoclemmys tuberculata</i>	MZUFV0043_2	<i>Kinosternon scorpioides</i>
7	MZUFV0048_1	<i>Acanthochelys spixii</i>	MZUFV0046_1	<i>Mesoclemmys tuberculata</i>
8	MZUFV0048_2	<i>Acanthochelys spixii</i>	MZUFV0046_2	<i>Mesoclemmys tuberculata</i>
9	MZUFV0050_1	<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0048_1	<i>Acanthochelys spixii</i>
10	MZUFV0050_2	<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0048_2	<i>Acanthochelys spixii</i>
11	MZUFV0051_1	<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0050_1	<i>Ranacephala hogei</i>
12	MZUFV0051_2	<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0050_2	<i>Ranacephala hogei</i>
13	MZUFV0053_1	<i>Hydromedusa maximiliani</i>	MZUFV0062_1	<i>Acanthochelys radiolata</i>
14	MZUFV0053_2	<i>Hydromedusa maximiliani</i>	MZUFV0062_2	<i>Acanthochelys radiolata</i>
15	MZUFV0070_1	<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUFV0063_1	<i>Phrynops geoffroanus</i>
16	MZUFV0070_2	<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUFV0063_2	<i>Phrynops geoffroanus</i>
17	MZUFV0071_1	<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUFV0070_1	<i>Phrynops geoffroanus</i>
18	MZUFV0071_2	<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUFV0070_2	<i>Phrynops geoffroanus</i>
19	MZUFV0079_1	<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUFV0071_1	<i>Phrynops geoffroanus</i>
20	MZUFV0079_2	<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUFV0071_2	<i>Phrynops geoffroanus</i>

21	MZUFV0120_1	<i>Ranacephala hoguei</i>	MZUFV0108_1	<i>Trachemys dorbigni</i>
22	MZUFV0120_2	<i>Ranacephala hoguei</i>	MZUFV0108_2	<i>Trachemys dorbigni</i>
23	MZUFV0145_1	<i>Hydromedusa maximiliani</i>	MZUFV0120_1	<i>Ranacephala hoguei</i>
24	MZUFV0145_2	<i>Hydromedusa maximiliani</i>	MZUFV0120_2	<i>Ranacephala hoguei</i>
25	MZUFV0148_1	<i>Trachemys scripta</i>	MZUFV0145_1	<i>Hydromedusa maximiliani</i>
26	MZUFV0148_2	<i>Trachemys scripta</i>	MZUFV0145_2	<i>Hydromedusa maximiliani</i>

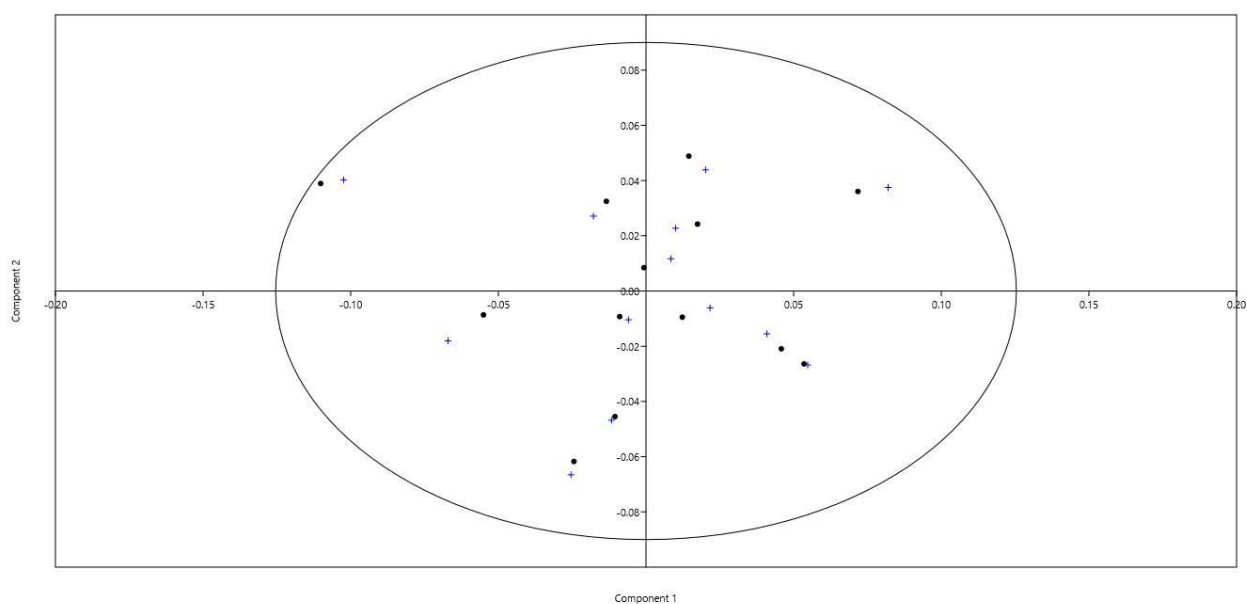
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.1. Coracoide:

Na PCA com os coracoides, os três primeiros PCs totalizaram 84,2% da variação amostral. A proximidade na projeção individual no morfoespaço decomposto por pares de PCs entre as réplicas indica, visualmente, que a variação entre as digitalizações foi baixa (**Figura 1**).

**Figura 1** - PCA da amostra de Coracoide. Os espécimes que compõem o grupo 1 são representados pelos pontos pretos e, os do grupo 2, pelas cruzes azuis. Pode-se observar que os pontos e cruzes se encontram próximos, em alguns casos, quase se sobrepondo. A distância entre eles indica a variação entre as réplicas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os testes de normalidade (**Tabela 2**) confirmaram a distribuição normal dos dados entre as réplicas nos PCs significativos.

**Tabela 2** - Teste de normalidade do PC1, PC2 e PC3 do Coracoide.

<b>Teste de Normalidade – Coracoide</b>						
	<b>PC1</b>		<b>PC2</b>		<b>PC3</b>	
<b>Réplicas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>N</b>	13	13	13	13	13	13
<b>Shapiro-Wilk W</b>	0,9476	0,9698	0,9519	0,9472	0,9683	0,9203
<b>p(normal)</b>	0,5622	0,892	0,6276	0,5559	0,8738	0,2532

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os resultados da ANOVA (**Tabela 3**) não encontraram diferenças significativas entre os scores dos PCs significativos (PC1,  $F=0,004$ ,  $p=0,9493$ ; PC2,  $F=0,007$ ,  $p=0,9355$ ; PC3,  $F=0,0549$ ,  $p=0,8167$ ).

**Tabela 3** - ANOVA realizada em PC1, C2 e PC3 do Coracoide.

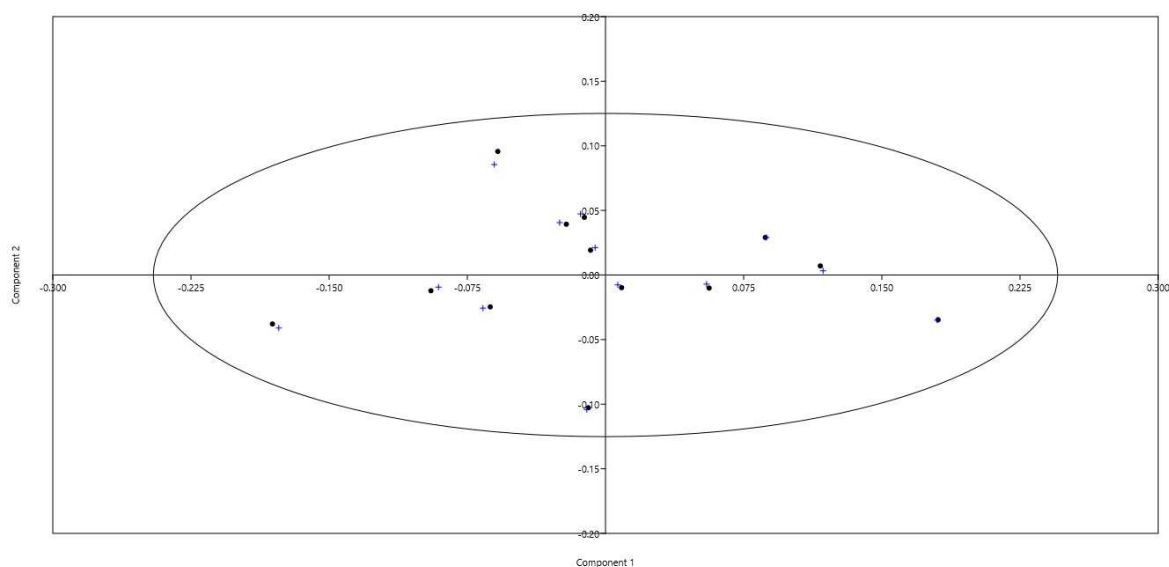
<b>ANOVA – Coracoide</b>		
	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>PC1</b>	0,004133	0,9493
<b>PC2</b>	0,006687	0,9355
<b>PC3</b>	0,0549	0,8167

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

## 2.2. Escápula:

Na PCA com as escápulas, os três primeiros PCs totalizaram 92,6% da variação amostral. A proximidade na projeção individual no morfoespaço decomposto por pares de PCs entre as réplicas indica, visualmente, que a variação entre as digitalizações foi baixa (**Figura 2**).

**Figura 2** - PCA da amostra de escápula. Os espécimes que compõem o grupo 1 são representados pelos pontos pretos e, os do grupo 2, pelas cruzes azuis. Pode-se observar que os pontos e cruces se encontram próximos, em alguns casos, quase se sobrepondo. A distância entre eles indica a variação entre as réplicas.



**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os testes de normalidade (**Tabela 4**) confirmaram a distribuição normal dos dados entre as réplicas dos PCs significativos.

**Tabela 4** - Teste de normalidade do PC1, PC2 e PC3 da escápula.

Teste de Normalidade – Escápula						
	PC1		PC2		PC3	
Réplicas	1	2	1	2	1	2
N	13	13	13	13	13	13
Shapiro-Wilk W	0,9777	0,9782	0,9705	0,9742	0,9639	0,9635
p(normal)	0,9661	0,9697	0,9	0,9385	0,8132	0,8064

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os resultados da ANOVA (**Tabela 5**) não encontraram diferenças significativas entre os scores dos PCs significativos (PC1,  $F < 0,0001$ ,  $p = 0,9934$ ; PC2,  $F = 0,0006$ ,  $p = 0,9801$ ; PC3,  $F = 0,00029$ ,  $p = 0,9866$ ).

**Tabela 5** - ANOVA realizada em PC1, C2 e PC3 da escápula.

ANOVA – Escápula	
F	p-valor

<b>PC1</b>	7,09E-05	0,9934
<b>PC2</b>	0,0006378	0,9801
<b>PC3</b>	0,00029	0,9866

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Em protocolos de testes de erro, a ANOVA é mais comumente utilizada. Entretanto, apesar de apresentarem resultados semelhantes, o teste T pode ser considerado metodologicamente mais adequado, levando em consideração que, nesse contexto, trata-se de variáveis dependentes (réplicas). Os resultados para as escápulas e os coracoides foram semelhantes e corroboram os resultados da ANOVA.

**Tabela 6** – Teste T realizada em PC1, C2 e PC3 da escápula e do coracoide.

	<b>Teste T</b>	
	<b>Coracoide</b>	<b>Escápula</b>
<b>PC1</b>	0,54985	0,32970
<b>PC2</b>	0,24522	0,64862
<b>PC3</b>	0,37596	0,72337

**Fonte:** Elaborado pelo autor.

### 3 CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, é possível entender que a digitalização dos marcos anatômicos se mostra coerente entre as réplicas dos espécimes selecionados, tanto no Coracoide quanto na escápula. Portanto, é seguro prosseguir a pesquisa com a metodologia testada ampliando a amostra.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNQVIST, G.; MARTENSSON, T. Measurement error in geometric morphometrics: empirical strategies to assess and reduce its impact on measures of shape. **Acta zool. hung.**, v. 44, n. 1-2, p. 73-96, 1998.

DEPECKER, M.; BERGE C.; PENIN X.; RENOUS S. Geometric morphometrics of the shoulder girdle in extant turtles (Chelonii). **Journal of Anatomy**, v. 208, n. 1, p. 35-45, jan. 2006. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2006.00512.x.

FOX, N. S.; VENERACION, J. J.; BLOIS, J. L. Are geometric morphometric analyses replicable? Evaluating landmark measurement error and its impact on extant and fossil *Microtus* classification. **Ecology and Evolution**, v. 10, n. 7, p. 3260-3275, mar. 2020. DOI: 10.1002/ece3.6063.

FRUCIANO, C; CELIK, M. A.; BUTLER, K.; DOOLEY, T.; WEISBECKER, V; PHILLIPS, M. J. Sharing is caring? Measurement error and the issues arising from combining 3D morphometric datasets. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 17, p. 7034-7046, jul. 2017. DOI: 10.1002/ece3.3256.

HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.T.; RYAN, P. D. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica**. v. 4, n 1, p. 4-9. jun. 2001. Disponível em: <[http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)>. Acesso em: 20 fev. 2025.

ROHLF, F.. The tps series of software. **Hystrix, The Italian Journal Of Mammalogy**, v. 26, n. 1, p. 1-4, 19 maio 2015. Associazione Teriologica Italiana. DOI: 10.4404/hystrix-26.1-11264.

ROHLF, F. J.; SLICE, D. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. **Systematic Zoology**, v. 39, n. 1, p. 40-59, mar. 1990. Oxford University Press (OUP). DOI: 10.2307/2992207.

YEZERINAC, S. M.; LOUGHEED, S. C.; HANDFORD, P. Measurement error and morphometric studies: Statistical power and observer experience. **SysJ. Biol**, v. 41, n. 4, p. 471-482, 1992.

## APÊNDICE D – MEDIDAS DO MEMBRO ANTERIOR

SM – Semiaquática; GC – Grande corpo d'água com água corrente; GP – Grande corpo d'água com água parada; TD – Todos os corpos d'água; PP – Pequeno corpo d'água com água parada; PC – Pequeno corpo d'água com água corrente; TP – Terras planas; MR – Marinho.

Espécie	Espécime	Família	Tipo de habitat	Subtipo de habitat	Comprimento (mm)				Proporção (%)			Úmero x Ulna	Total x carapaça	
					Úmero	Ulna	Mão	Total	Carapaça	Úmero	Ulna			Mão
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0037	Chelidae	SM	GC	55,1	24,6	59,7	127,0		43,4	19,3	47,0		0,4
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0039	Chelidae	SM	GC	30,9	14,6			340,0				2,2	
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0050	Chelidae	SM	GC	54,2	23,3			193,0				2,1	
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0051	Chelidae	SM	GC	72,8	28,2	142,6	316,0		51,0	19,8	29,2	2,3	
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUFV0120	Chelidae	SM	GC	43,6	19,3	34,7	97,6	344,0	44,6	19,8	35,6	2,6	
<i>Ranacephala hogei</i>	MZUSP4803	Chelidae	SM	GC	63,8	30,9	35,0	129,7		49,2	23,8	27,0	2,3	0,4
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0052	Chelidae	SM	GP	31,9	13,4	26,2	71,5	319,0	44,7	18,8	36,6	2,1	
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0059	Chelidae	SM	GP	50,0	21,6	22,1	111,2		45,0	19,5	19,9	2,4	0,4
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0070	Chelidae	SM	GP	53,3	23,1			306,0				2,3	
<i>Phrynops Geoffroanus</i>	MZUFV0077	Chelidae	SM	GP	25,9	12,3	23,9	62,1	295,0	41,7	19,8	38,5	2,3	0,3
<i>Phrynops</i>	MZUFV0078	Chelidae	SM	GP	30,8	13,3	26,2	70,4	182,0	43,8	19,0	37,3	2,1	0,3

<i>geoffroanus</i>														
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUFV0079	Chelidae	SM	GP	34,4	15,5			244,0				2,3	0,0
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4488	Chelidae	SM	GP	48,6	22,7	32,3	103,6	194,0	46,9	21,9	31,1	2,2	0,4
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4475	Chelidae	SM	GP	31,0	13,3			277,0				2,1	
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUEL1674(A)	Chelidae	SM	GP	58,5	25,4			191,0				2,3	
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4664	Chelidae	SM	GP	45,5	23,7	32,2	101,4	296,0	44,9	23,4	31,8	2,3	0,4
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4612	Chelidae	SM	GP	54,5	24,5	41,9	120,9	261,0	45,1	20,2	34,7	1,9	0,4
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4489	Chelidae	SM	GP	51,2	21,1	33,5	105,8	316,0	48,4	19,9	31,7	2,2	0,4
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4548	Chelidae	SM	GP	32,4	13,9	19,4	65,7	275,0	49,3	21,1	29,5	2,4	0,3
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP3321	Chelidae	SM	GP	16,4	6,6	13,4	36,5	196,0	45,1	18,1	36,8	2,3	0,4
<i>Phrynops geoffroanus</i>	MZUSP4524	Chelidae	SM	GP	56,2	26,3	30,4	112,8	104,0	49,8	23,3	26,9	2,5	0,4
<i>Phrynops hiliarii</i>	MZUSP2787	Chelidae	SM	TD	20,5	9,8	13,1	43,4	318,0	47,2	22,6	30,2	2,1	0,3
<i>Phrynops hiliarii</i>	MZUSP4609	Chelidae	SM	TD	52,0	23,8			125,0				2,1	
<i>Phrynops sp.</i>	MZUSP2779	Chelidae	SM	GC	29,0				267,0				2,2	
<i>Phrynops sp.</i>	MZUSP2062	Chelidae	SM	GC	52,2				189,0					
<i>Hydromedusa tectifera</i>	USNM15186	Chelidae	SM	GC	44,9	20,4	24,2	89,5		50,1	22,8	27,1		





<i>dumerilianus</i>													
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP2753	Podocnemididae	SM	TD	72,2	37,6	42,9	152,7		47,3	24,6	28,1	1,8
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3139	Podocnemididae	SM	TD	77,4	40,7	53,3	171,4		45,2	23,8	31,1	1,9
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3216	Podocnemididae	SM	TD	77,7	40,3	54,5	172,4		45,0	23,4	31,6	1,9
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3137	Podocnemididae	SM	TD	55,1	30,1	28,1	113,3		48,7	26,5	24,8	1,9
<i>Peltocephalus dumerilianus</i>	MZUSP3138	Podocnemididae	SM	TD	51,3	28,2							1,8
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	INPA21932	Podocnemididae	SM	TD	33,5	18,1	30,3	81,8		40,9	22,1	37,0	1,8
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	MZUSP3218	Podocnemididae	SM	TD		16,8	27,4						1,9
<i>Podocnemis sextuberculata</i>	MZUSP3217	Podocnemididae	SM	TD	30,9	15,4	26,0	72,3	188,0	42,7	21,3	36,0	
<i>Podocnemis expansa</i>	MZUSP2761	Podocnemididae	SM	TD	90,9								2,0
<i>Podocnemis</i> sp.	MZUSP2017	Podocnemididae	SM	GC			42,6						
<i>Podocnemis unifilis</i>	INPA10021	Podocnemididae	SM	GC	52,8	28,8							
<i>Podocnemis unifilis</i>	INPA11555	Podocnemididae	SM	GC		35,7							1,8
<i>Podocnemis unifilis</i>	MZUSP3209	Podocnemididae	SM	GC	42,8	20,3	36,1	99,2		43,1	20,5	36,4	
<i>Podocnemis</i>	INPA12413	Podocnemididae	SM	PP	37,6	19,2							2,1



<i>Trachemys scripta</i>	MZUFV0148	Emydidae	SM	PP	43,1	20,0			221,0					2,3
<i>Trachemys scripta</i>	MZUSP4251	Emydidae	SM	PP	34,3	12,0			229,0					2,2
<i>Trachemys scripta</i>	MZUSP4248	Emydidae	SM	PP	32,5	14,9	18,4	65,8	191,0	49,4	22,7	28,0	2,9	0,4
<i>Kinosternon scorpioides</i>	MZUFV0043	Kinosternidae	SM	PP	28,4	17,2	17,9	63,5	179,0	44,7	27,1	28,2	2,2	0,4
<i>Sternotherus odoratus</i>	MZUSP4197	Kinosternidae	SM	PP	19,3	10,4			162,0					1,7
<i>Sternotherus odoratus</i>	MZUSP4198	Kinosternidae	SM	PP	17,5	10,1								1,9
<i>Chelydra serpentina</i>	MZUSP4199	Chelydridae	SM	PC	70,5									1,7
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	INPA1226	Testudinidae	TE	TP	76,1									
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	MZUFV0144	Testudinidae	TE	TP	101,2	65,9								
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUFV0098	Testudinidae	TE	TP	68,9	45,4								1,5
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUFV0110	Testudinidae	TE	TP	67,7	44,1	11,5	123,3	400,0	54,9	35,8	9,3	1,5	0,3
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP3068	Testudinidae	TE	TP	58,9				380,0					1,5
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4129	Testudinidae	TE	TP	29,0	16,6	7,3	52,9	288,0	54,9	31,3	13,9		0,3
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	MZUSP4164	Testudinidae	TE	TP	33,9	19,5	11,0	64,3	158,0	52,7	30,2	17,1	1,8	0,3



## APÊNDICE E – MEDIDAS DA ESCÁPULA

<b>Espécies</b>	<b>Comprimento do processo escapular dorsal</b>	<b>Comprimento do processo acromial</b>	<b>Comprimento processo escapular dorsal/ comprimento processo escapular</b>	<b>Largura da margem medial do processo escapular dorsal</b>	<b>Largura da margem medial do processo acromial</b>
<i>Hydromedusa maximiliani</i>	2,23	1,55	1,44	0,19	0,22
<i>Caretta caretta</i>	21,36	14,45	1,48	1,44	2,04
<i>Chelonia mydas</i>	5,66	5,18	1,09	0,42	0,6
<i>Chelydra serpentina</i>	8,88	6,08	1,46	0,68	0,53
<i>Chelonoidis denticulatus</i>	9,63	6,19	1,56	1,48	0,83
<i>Chelonoidis carbonarius</i>	5,75	4,04	1,42	0,86	0,53
<i>Sternotherus odoratus</i>	2,10	1,41	1,49	0,12	0,09
<i>Kinisternon scorpioides</i>	2,73	2,01	1,36	0,11	0,18
<i>Rhiemys rufipes</i>	3,42	1,96	1,74	0,26	0,25