v7.n9.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

DIMORFISMO SEXUAL EM *KINOSTERNON SCORPIOIDES* (LINNAEUS, 1766) AVALIADO POR MORFOMETRIA GEOMÉTRICA

SEXUAL DIMORPHISM ASSESSED USING GEOMETRIC MORPHOMETRICS IN KINOSTERNON SCORPIOIDES (LINNAEUS, 1766)

DIMORFISMO SEXUAL EVALUADO POR MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA EN KINOSTERNON SCORPIOIDES (LINNAEUS, 1766)

Igor Vasconcelos Silva[1], Lucas Garcia Martins[2], Luane Gabriela Botelho Rebelo[3]
Ana Sílvia Sardinha Ribeiro[4], Andréa Magalhães Bezerra[5]

e798943
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i9.8943

PUBLICADO: 09/2026

RESUMO

Kinosternon scorpioides (muçuã) é um quelônio amazônico de grande relevância socioambiental, cujo reconhecimento do dimorfismo sexual é vital para estratégias de manejo e conservação. Este estudo objetivou comparar técnicas de diferenciação sexual na espécie utilizando a morfometria linear tradicional e a geométrica, visando identificar a melhor abordagem não invasiva. Foram analisados 30 espécimes oriundos de Cachoeira do Arari (PA). Após a sexagem, fotografias de carapaças e plastrões foram processadas no software tpsDig para demarcação de *landmarks*. Realizou-se a Análise de Procrustes Generalizada (GPA) para alinhamento, seguida pelas análises Procrustes ANOVA, Componentes Principais (PCA), regressão alométrica e discriminante (DFA). Os resultados lineares não indicaram diferença significativa no comprimento das carapaças entre os sexos, mas evidenciaram diferenças na altura. Geometricamente, observaram-se variações marcantes. A PCA revelou que os dois primeiros componentes explicaram 47% da variação na forma das carapaças e 48% nos plastrões. A regressão alométrica demonstrou que o tamanho do centroide não influencia significativamente tais variações, confirmando que o dimorfismo está atrelado especificamente à forma, e não ao tamanho geral. A DFA apontou alta precisão inicial na discriminação sexual (96,7%). A morfometria geométrica demonstrou a capacidade de distinguir variações morfológicas entre os sexos, mas a queda de desempenho na validação cruzada sugere que é crucial realizar validações em amostras independentes, representando uma abordagem promissora para otimizar a conservação da espécie.

PALAVRAS-CHAVE: Conservação. Biometria de casco. Tartarugas amazônicas.

ABSTRACT

Kinosternon scorpioides (muçuã) is an Amazonian chelonian of great socio-environmental relevance, whose recognition of sexual dimorphism is vital for management and conservation strategies. This study aimed to compare sexual differentiation techniques in the species using traditional linear and geometric morphometry, seeking to identify the best non-invasive approach. Thirty specimens from Cachoeira do Arari (PA) were analyzed. After sexing, photographs of carapaces and plastrons were processed in the tpsDig software for landmark demarcation. Generalized Procrustes Analysis (GPA) was performed for alignment, followed by Procrustes ANOVA, Principal Component Analysis (PCA), allometric regression, and Discriminant Function Analysis (DFA).

[1] Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).
[2] Mestre em Ecologia pela Universidade Federal do Pará (UFPA).
[3] Doutoranda em Ecologia Aplicada na Universidade Federal de Lavras (UFLA).
[4] Doutora em Ciências Agrárias pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).
[5] Doutora em Saúde e Produção Animal pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Linear results did not indicate a significant difference in carapace length between sexes, but evidenced differences in height. Geometrically, marked variations were observed. PCA revealed that the first two components explained 47% of the shape variation in carapaces and 48% in plastrons. Allometric regression demonstrated that centroid size does not significantly influence these variations, confirming that dimorphism is specifically linked to shape rather than overall size. DFA showed high initial accuracy in sex discrimination (96.7%). Geometric morphometrics demonstrated the ability to distinguish morphological variations between the sexes, but the drop in performance during cross-validation suggests that validation on independent samples is crucial, representing a promising approach to optimizing the species conservation.

KEYWORDS: *Conservation. Shell biometry. Amazonian turtles.*

RESUMEN
Kinosternon scorpioides (muçuã) es un quelonio amazónico de gran relevancia socioambiental, cuyo reconocimiento del dimorfismo sexual es vital para las estrategias de manejo y conservación. Este estudio tuvo como objetivo comparar técnicas de diferenciación sexual en la especie utilizando la morfometría lineal tradicional y la geométrica, con el fin de identificar el mejor enfoque no invasivo. Se analizaron 30 especímenes provenientes de Cachoeira do Arari (PA). Después del sexado, las fotografías de caparazones y plastrones fueron procesadas en el software tpsDig para la demarcación de landmarks. Se realizó el Análisis de Procrustes Generalizado (GPA) para el alineamiento, seguido por los análisis de Procrustes ANOVA, Componentes Principales (PCA), regresión alométrica y Análisis Discriminante (DFA). Los resultados lineales no indicaron una diferencia significativa en la longitud de los caparazones entre los sexos, pero evidenciaron diferencias en la altura. Geométricamente, se observaron variaciones marcadas. El PCA reveló que los dos primeros componentes explicaron el 47% de la variación en la forma de los caparazones y el 48% en los plastrones. La regresión alométrica demostró que el tamaño del centroide no influye significativamente en tales variaciones, confirmando que el dimorfismo está vinculado específicamente a la forma y no al tamaño general. El DFA mostró una alta precisión inicial en la discriminación sexual (96,7 %). La morfometría geométrica demostró capacidad para distinguir variaciones morfológicas entre sexos; sin embargo, la disminución del rendimiento en la validación cruzada sugiere que es crucial realizar validaciones en muestras independientes, lo que representa un enfoque prometedor para optimizar la conservación de la especie.

PALABRAS CLAVE*: Conservación. Biometría de caparazón. Tortugas amazónicas.*

INTRODUÇÃO

Kinosternon scorpioides (Linnaeus, 1766), conhecido popularmente como muçuã, é um quelônio aquático de pequeno a médio porte, amplamente encontrado nas Américas. Na Amazônia, ele possui grande relevância biológica e socioeconômica, sendo consumido de forma tradicional pelas populações locais (Berry e Shine, 1980; Iverson *et al*., 2019; Rodrigues *et al*., 2017). Embora tenha grande importância ecológica, o entendimento científico acerca da biologia e da dinâmica populacional da espécie ainda é restrito. Isso dificulta a criação de estratégias de conservação eficientes frente a ameaças como a perda de habitat e a degradação ambiental (Monteiro e Reis, 1999).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

O dimorfismo sexual (Ferreira Júnior, 2009) é um dos elementos fundamentais para entender a ecologia do muçuã e para seu manejo apropriado, tanto na formação de plantéis em cativeiro quanto em programas de reintrodução na natureza. Contudo, os métodos convencionais de sexagem frequentemente se revelam invasivos, pouco práticos ou logisticamente inviáveis para estudos de campo (Valenzuela *et al*., 2004). Nesse contexto, o desenvolvimento e a validação de técnicas morfométricas precisas e menos invasivas se tornam instrumentos essenciais para atender às necessidades de gestão da biodiversidade.

Diante disso, o estudo se justifica pela necessidade de aprimoramento e validação de técnicas não invasivas de sexagem para a fauna amazônica. A adoção de técnicas que reduzam o estresse e o manuseio excessivo dos animais é essencial para a ética nas pesquisas de campo e para o bem-estar animal. Ademais, o estudo possibilita um levantamento mais confiável da estrutura populacional e da proporção de sexos na natureza ao assegurar uma identificação sexual precisa sem comprometer a integridade física dos espécimes (Pereira *et al*., 2014). Tais informações são cruciais para apoiar a elaboração de planos de manejo eficazes, direcionar programas de reprodução ou reintrodução e fomentar mecanismos concretos de conservação e sustentabilidade da espécie diante das crescentes pressões humanas em seus habitats naturais (Pezzuti, 2003; 2009).

Com isso, o objetivo principal deste estudo é comparar os métodos de diferenciação sexual em indivíduos adultos de *Kinosternon scorpioides* utilizando tanto a morfometria linear convencional quanto a morfometria geométrica digital. Além disso, procura-se demonstrar a eficácia dessas técnicas em espécimes provenientes do município de Cachoeira do Arari, no Pará, determinando qual método é mais preciso e aplicável para auxiliar no aprimoramento das estratégias de manejo e conservação da espécie.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Biologia e Dimorfismo Sexual em *Kinosternon scorpioides*

Naturalistas afirmam que, no passado, os indígenas mantinham uma grande quantidade de muçuãs em currais nas aldeias para compensar a escassez de alimento durante a época das cheias (Pantoja-Lima, 2012). No Brasil, a espécie está presente nos estados do Pará, Maranhão, Goiás, Ceará, Rio Grande do Norte e Pernambuco, sendo o único membro do gênero *Kinosternon* (Andrade, 2019) e da família Kinosternidae (Viana *et al*., 2014).

As diferenças de tamanho entre machos e fêmeas de quelônios podem ser explicadas pela teoria da seleção sexual. Muitas espécies podem aumentar o tamanho e a massa em até

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

duas vezes no primeiro ano de vida. A taxa de crescimento diminui quando atingem a maturidade sexual, sendo afetada por fatores como genética, temperatura, oferta de alimento e alterações na dieta (Berry e Shine, 1980). Em *K. scorpioides*, o dimorfismo favorece machos de maior tamanho (Ferreira Júnior, 2009). Ao alcançarem a maturidade sexual, os machos apresentam características secundárias, tais como garras longas e curvadas, caudas extensas com cloaca na extremidade terminal e manchas negras (tigrados) na cabeça, pescoço e maxilar (Berry e Shine, 1980).

Além disso, a identificação dessas diferenças sexuais é fundamental, uma vez que o dimorfismo oferece insights importantes sobre papéis ecológicos variados, como uso de *habitat* e comportamento reprodutivo. No entanto, dentro de uma mesma família de quelônios, pode haver diferenças que tornam as generalizações entre as espécies mais complicadas, o que torna indispensáveis pesquisas focadas e contínuas (Ferreira Júnior, 2003; 2009).

1.2. Métodos de Diferenciação Sexual e Morfometria Geométrica

A variação sexual em espécimes adultos é geralmente avaliada por meio de parâmetros fenotípicos de morfometria linear, como tamanho corporal, comprimento da cauda e dimensões (largura e comprimento) do plastrão e da carapaça (Silva-da-Silva *et al*., 2021). Apesar de úteis, métodos menos invasivos estão sendo desenvolvidos para assegurar uma maior exatidão na determinação de coordenadas anatômicas (Silva *et al*., 2017).

Nesse contexto, a morfometria geométrica digital se sobressai como uma abordagem quantitativa e matemática inovadora para analisar formas biológicas. Diferentemente das medidas lineares convencionais, que podem gerar redundância, a geometria se concentra nas relações espaciais entre pontos de referência específicos do organismo, conhecidos como marcos anatômicos (Zelditch; Swiderski; Sheets, 2012). Essa tecnologia de computação gráfica possibilita a observação precisa das variações morfológicas no tamanho e formato da carapaça e do plastrão, sendo útil para a diferenciação sexual e estudos filogenéticos (Monteiro e Reis, 1999; Valenzuela *et al*., 2004; Depecker *et al*., 2006; Ferreira Júnior, 2009; Chaves *et al*., 2022).

Dessa forma, a morfometria geométrica, por meio de análise fotográfica e *software* específico, garante alta precisão (Van Der Molen *et al*., 2007; Lyra *et al*., 2010; Sönmez *et al*., 2019). Essa ferramenta computacional é essencial para pesquisadores envolvidos na gestão da biodiversidade, pois permite otimizar estratégias de intervenção e planos de conservação da fauna silvestre.

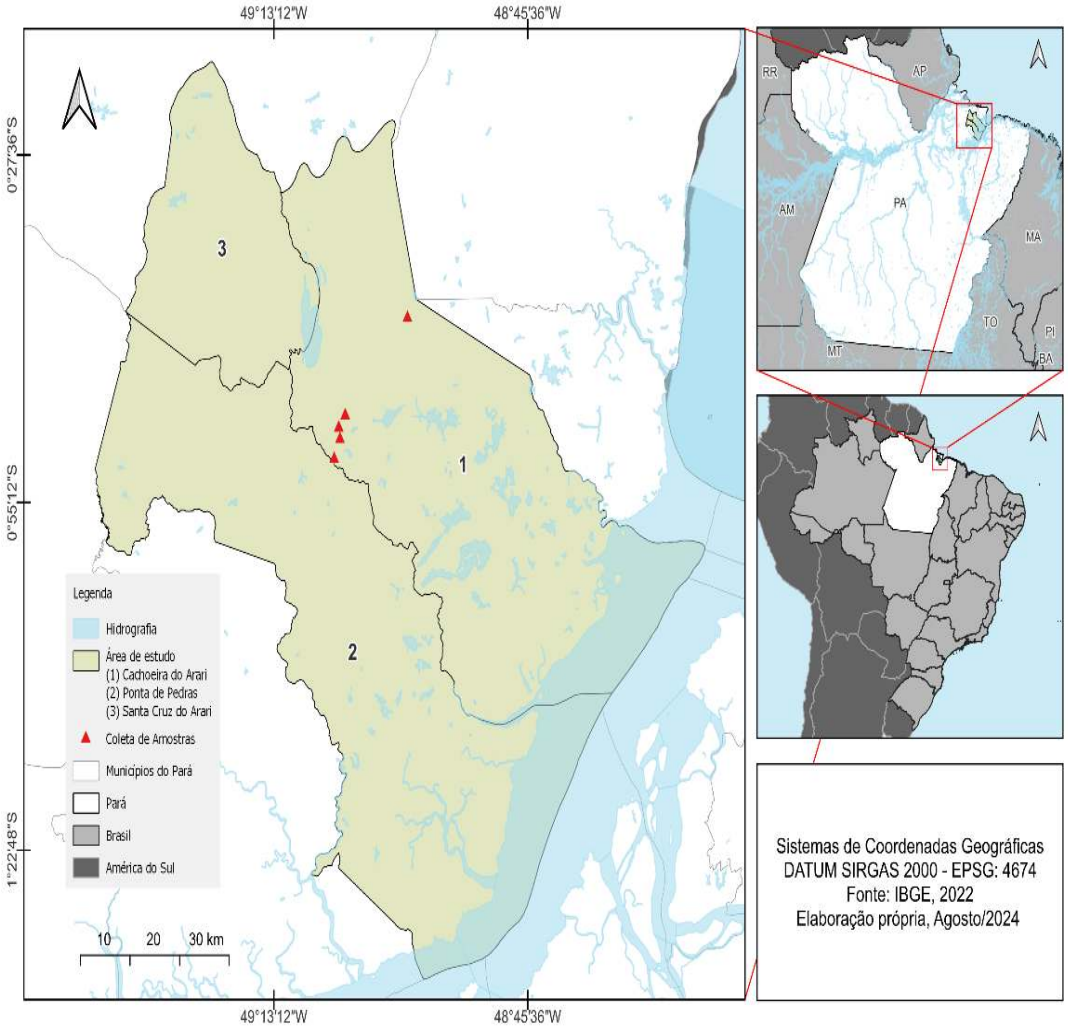
2. METODOLOGIA

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Os trinta (n = 30) espécimes de *Kinosternon scorpioides* utilizados neste estudo foram coletados no município de Cachoeira do Arari, no Arquipélago do Marajó (PA), totalizando cinco pontos de amostragem (Figura 1). Todo o material analisado está conservado e faz parte do acervo da coleção zoológica do Museu de Zoologia da Universidade Federal Rural da Amazônia – MZUFRA.

O uso dos animais neste estudo foi autorizado pelo Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade (SISBIO) sob o número de autorização 57885-2, e foi certificado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da UFRA sob o número de protocolo 012/2017 - CEUA.

Figura 1. Pontos de coleta de *Kinosternon scorpioides*, Ilha do Marajó-PA, Brasil, 2017



Fonte: Silva, 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A amostra, composta por 30 indivíduos, incluía 13 machos e 17 fêmeas. Dentre eles, 23 apresentavam porte adulto (10 machos e 13 fêmeas) e 7 apresentavam porte juvenil (3 machos e 4 fêmeas), sendo a classificação realizada com base no tamanho da carapaça. A sexagem tradicional adotada como padrão de referência para a comparação das técnicas consistiu na avaliação morfológica visual de caracteres sexuais secundários (tamanho da cauda e concavidade do plastrão), realizada previamente pelos pesquisadores durante a triagem e tombo no acervo da coleção zoológica.

Após essa identificação, medidas como largura e comprimento das carapaças e plastrões foram registradas com o auxílio de um paquímetro, e as informações coletadas foram organizadas em planilhas do *Microsoft Excel*. Posteriormente, o teste de Shapiro-Wilk foi aplicado aos dados morfométricos lineares para verificar a normalidade da distribuição de resíduos. Após verificar a normalidade, foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA) para avaliar se há diferenças significativas na altura e no comprimento da carapaça entre machos e fêmeas.

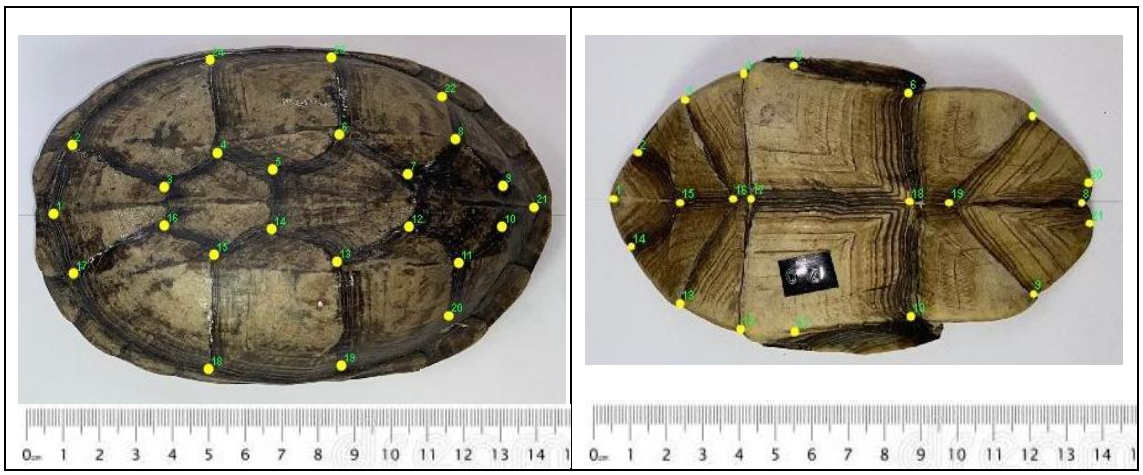
A determinação do sexo foi realizada previamente por especialista da coleção zoológica do MZUFRA, utilizando caracteres morfológicos secundários descritos para indivíduos adultos de Kinosternon scorpioides, incluindo comprimento e espessura da cauda, posição da cloaca em relação à carapaça, concavidade do plastrão e características sexuais secundárias da cabeça, conforme Ferreira Júnior (2009) e Berry e Shine (1980). Essa identificação constituiu o padrão de referência para as análises morfométricas subsequentes.

Na próxima etapa, foram obtidas imagens fotográficas dos 30 espécimes usando um *smartphone* com câmera de 12 *megapixels* e *zoom* digital de até 3x. O procedimento fotográfico consistiu em colocar as carapaças dorsalmente sobre uma superfície branca, com os escudos cervicais orientados para a esquerda, mantendo uma distância de 30 centímetros entre a lente e a carapaça. Todas as fotografias incluíram escala métrica e foram obtidas sob o mesmo protocolo de iluminação e distância. Depois de adquiridas, as fotos foram padronizadas em uma resolução de 4032 × 2268 *pixels* (resolução do dispositivo). O *software* tpsUtil converteu as imagens em arquivos TPS, e o programa tpsDig processou esses arquivos. Nele, foram definidos 24 marcos anatômicos (l*andmarks*) nas carapaças e 21 nos plastrões. Dessa forma, uma vez definido e localizado cada ponto anatômico, um conjunto de coordenadas cartesianas foi elaborado para cada *landmark* (Figura 2).

Figura 2. Localização dos *landmarks* dispostos na carapaça (esquerda) e plastrão (direita) de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Kinosternon scorpioides



Fonte: Silva, 2024.

Com base nas medidas lineares, o peso e o comprimento de machos e fêmeas foram correlacionados por meio de uma regressão linear de função de potência. A equação tem a forma $y = ax^b$, na qual o expoente “b” indica o coeficiente de crescimento alométrico. As seguintes relações foram levadas em consideração (Iverson; Lindeman; Lovich, 2019): devido à parametrização do gráfico, em que o Comprimento é colocado no eixo Y em relação ao Peso no eixo X ($L = aW^b$), o valor esperado para o coeficiente de isometria é $b \approx 0{,}33$ $(1/3)$. Valores de “b” significativamente menores que $0{,}33$ indicam alometria negativa (o comprimento aumenta em um ritmo menor que o peso), enquanto valores maiores indicam alometria positiva. A força da correlação entre as duas variáveis foi medida pelo coeficiente de Pearson (em caso de dados normais) ou do coeficiente de Spearman (para dados não normais). O ajuste da reta foi medido pelo coeficiente de determinação (R^2) (Fernando, 2020).

As análises morfométricas no *software* MorphoJ foram realizadas de acordo com uma sequência metodológica completa. Para começar, a Análise de Procrustes Generalizada (GPA) foi utilizada para sobrepor as formas, removendo as variações de tamanho, translação e rotação, o que possibilitou a comparação direta das formas. A partir da GPA, foi conduzida a Procrustes ANOVA para analisar a variação entre indivíduos, fotos e lados, visando identificar diferenças relevantes nas formas, tanto simétricas quanto assimétricas.

Em seguida, a Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada para investigar a estrutura da variabilidade das formas. As PCAs foram executadas tanto para os componentes simétricos quanto para os assimétricos, possibilitando a identificação dos eixos de variação mais relevantes nas carapaças e plastrões. As diferenças na morfologia entre os sexos foram

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

caracterizadas pela variabilidade explicada pelos primeiros componentes principais.

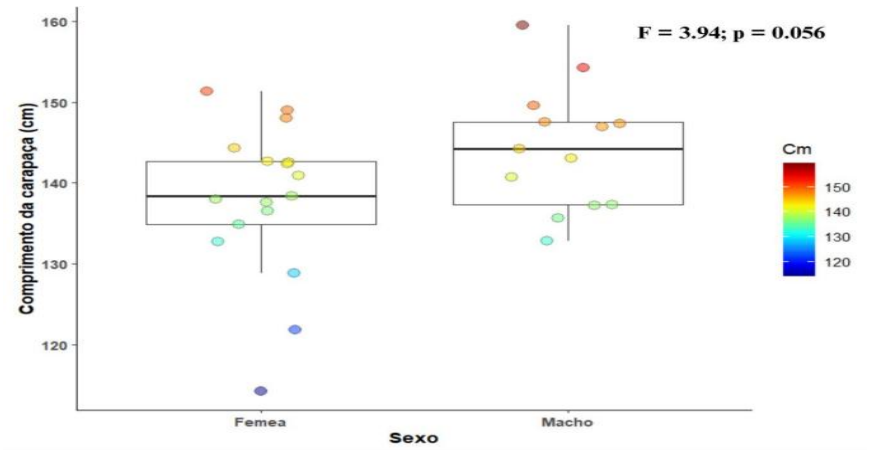
Na sequência, foi realizada uma análise de regressão alométrica para examinar a relação entre o tamanho do centroide (uma medida geral de tamanho) e a variação nas formas. O objetivo era determinar se o tamanho das carapaças e plastrões afetava diretamente a variação morfológica observada nos pontos anatômicos (*landmarks*). A análise foi realizada tanto para cada sexo individualmente quanto para o conjunto total de amostras.

Por fim, a Análise de Função Discriminante (DFA) foi empregada para classificar as formas de acordo com o sexo dos indivíduos, usando as coordenadas dos pontos de referência. Para validar a significância estatística da distinção entre machos e fêmeas, foram executados testes de permutação com 1.000 iterações para as 30 amostras de carapaças e plastrões. Além disso, a Análise de Variáveis Canônicas (CVA) foi empregada para examinar a variação multivariada entre os sexos, utilizando as distâncias de Mahalanobis e Procrustes para analisar as diferenças nas formas das carapaças e plastrões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados os dados biométricos de carapaça e plastrão dos 30 espécimes. A análise dos comprimentos médios das carapaças entre machos e fêmeas não revelou uma diferença estatisticamente significativa (p = 0,056). Dessa forma, não foram observadas evidências suficientes de diferença no comprimento da carapaça entre os sexos (Figura 3).

Figura 3. Análise comparativa do comprimento da carapaça entre machos e fêmeas adultos de *Kinosternon scorpioides* (n=30)

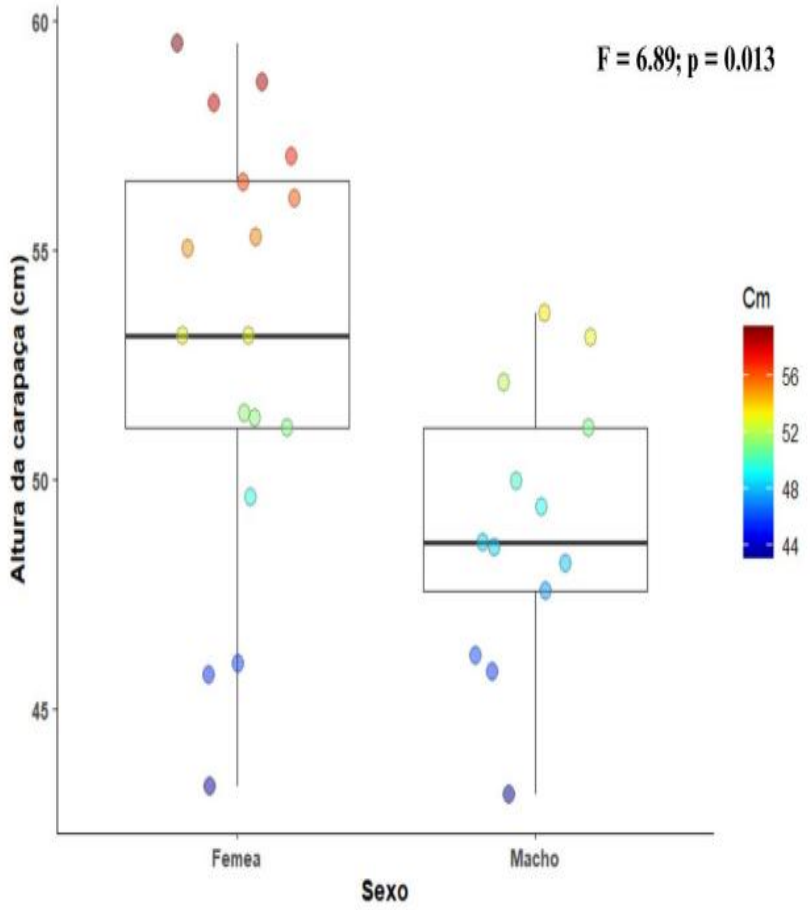


Fonte: Silva, 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A comparação entre as médias da altura da carapaça entre machos e fêmeas mostrou uma diferença estatisticamente significativa (p = 0,013). Os dados obtidos demonstram que há diferença na altura da carapaça entre os sexos analisados (Figura 4).

Figura 4. Análise comparativa da altura da carapaça entre machos e fêmeas adultos de *Kinosternon scorpioides* (n=30)

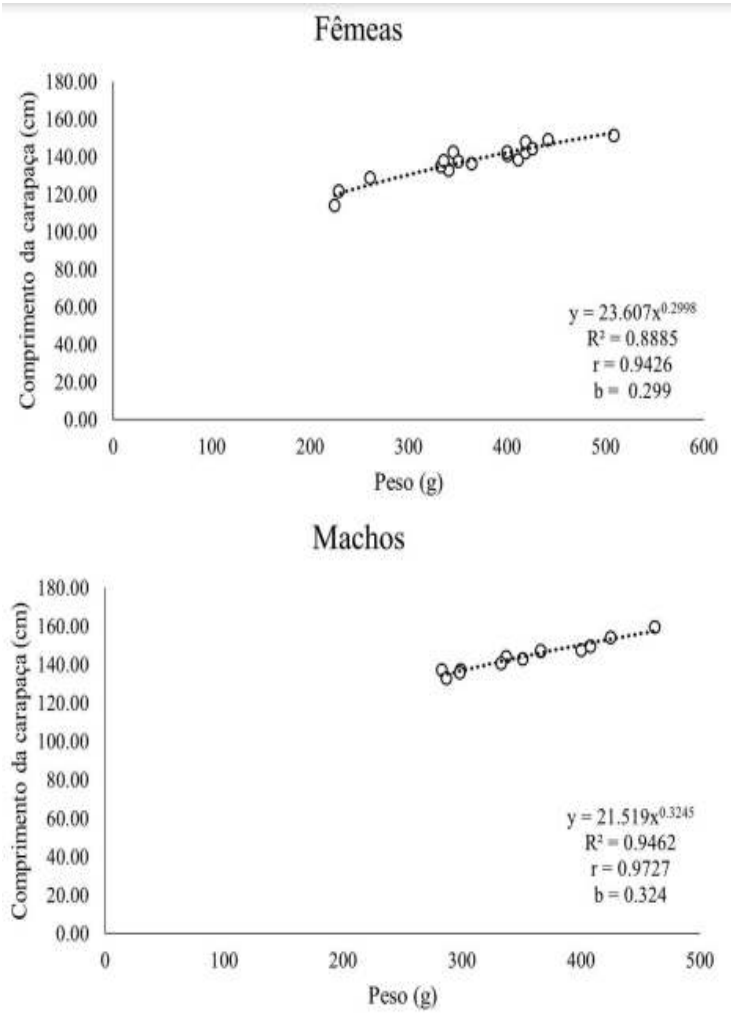


Fonte: Silva, 2024.

As análises de regressão realizadas para machos e fêmeas demonstraram uma relação significativa entre o peso e o comprimento da carapaça, conforme os coeficientes de correlação de Pearson identificados (fêmeas: r = 0,9426; machos: r = 0,9727). No caso das fêmeas, a correspondência entre peso e comprimento da carapaça demonstrou R^2 = 0,8885; por outro lado, para os machos, o valor observado foi R^2 = 0,9462. Os resultados demonstram uma significativa associação entre as variáveis examinadas, sendo que a variação do comprimento da carapaça é mais bem explicada pelo peso nos machos (Figura 5).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 5. Relação entre peso e comprimento da carapaça de machos e fêmeas adultos de *Kinosternon scorpioides* (n = 30)

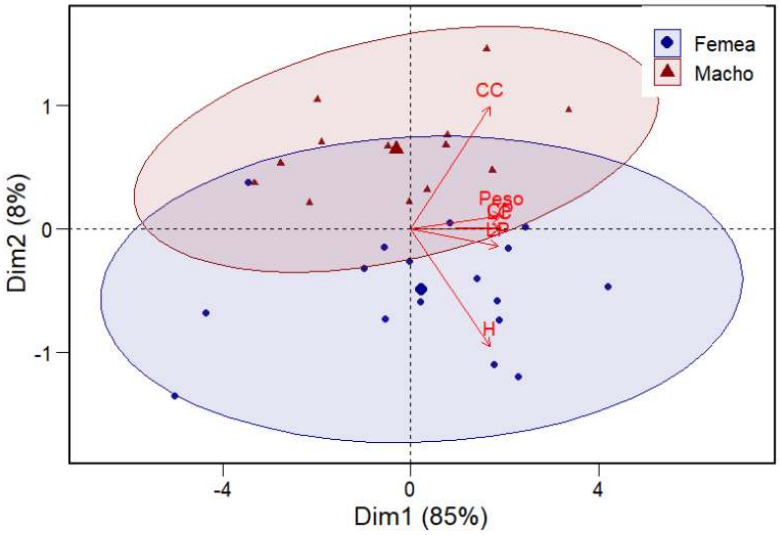


Fonte: Silva, 2024.

A PCA (Análise de Componentes Principais) foi empregada para determinar como as variáveis morfométricas contribuem para a distinção entre machos e fêmeas. Notou-se que a altura da carapaça teve uma contribuição maior para o agrupamento das fêmeas, enquanto o comprimento da carapaça foi mais significativo para o agrupamento dos machos. Outras variáveis contribuíram menos para a distinção entre os sexos (Figura 6).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 6. Análise de componentes principais: contribuição das variáveis morfométricas na diferenciação entre machos e fêmeas adultos de *Kinosternon scorpioides* (n=30).



Fonte: Silva, 2024.

Esses resultados já indicam pontos relevantes sobre o dimorfismo sexual, alinhando-se a outras pesquisas que empregam morfometria geométrica para examinar o dimorfismo sexual em quelônios. Como mencionado anteriormente, estudos indicam que essa espécie exibe diferenças sexuais notáveis em parâmetros fenotípicos, como tamanho do corpo, forma do plastrão e comprimento da cauda (Berry e Shine, 1980; Iverson; Lindeman; Lovich, 2019; Silva-da-Silva *et al*., 2021). Pesquisas realizadas na Amazônia brasileira, por exemplo, mostraram que os machos apresentam plastrões mais côncavos e caudas mais longas, ao passo que as fêmeas possuem caudas menores e plastrões retos, o que facilita a postura de ovos (Chaves *et al*., 2022). A variação entre os indivíduos pode ser diretamente relacionada ao dimorfismo sexual, de acordo com nossos resultados, que mostram diferenças significativas nas carapaças e plastrões com base na morfometria geométrica.

Chaves *et al*. (2022), que também investigaram o dimorfismo sexual em *Kinosternon scorpioides* da Amazônia, corroboram a existência de variações morfológicas entre machos e fêmeas. Eles descobriram que os machos geralmente apresentam carapaças mais largas e plastrões mais côncavos, características associadas à reprodução. Por outro lado, as fêmeas possuem plastrões mais planos, facilitando o processo de postura de ovos. Assim, nossos resultados confirmam esses achados ao identificar variações significativas entre os indivíduos, indicando que a morfometria geométrica também é eficiente para mostrar essas diferenças

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

sexuais na forma dos plastrões e carapaças. A combinação dessas metodologias reforça a ideia de que o dimorfismo sexual é evidente nessa espécie.

As análises de Procrustes ANOVA demonstraram diferenças significativas entre os indivíduos, tanto no que diz respeito às carapaças, quanto aos plastrões. No que diz respeito às carapaças, o efeito “Indivíduo” revelou-se significativo ($p < 0,0001$), indicando uma variação substancial nas formas dos indivíduos, o que sugere a presença de dimorfismo sexual. De maneira análoga, a investigação dos plastrões também evidenciou uma variação significativa entre os indivíduos ($F = 12,21$, $p < 0,0001$), reforçando a concepção de que a morfometria geométrica se revela eficaz na identificação de diferenças entre os sexos. Em ambas as situações, as variações percebidas entre os indivíduos parecem estar relacionadas a discrepâncias de sexo, especialmente devido ao fato de que as divergências na média de forma se destacam (Tabela 1).

Tabela 1. Medidas lineares da carapaça e do plastrão de machos e fêmeas de *Kinosternon scorpioides*. Legenda: CC = Comprimento da carapaça; LC = Largura da carapaça; CP = Comprimento do plastrão; LP = Largura do plastrão; Altura do casco; F = Fêmea; M = Macho, em milímetros (mm).

Valores	CC		LC		CP		LP		Altura	
	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M
Média	132,765	146,16	89,865	90,02	124,335	124,7	77,76	76,25	51,405	48,37
Máximo	151,32	159,5	98,63	98,28	138,4	136,5	86,94	83,25	59,51	53,62
Mínimo	114,21	132,82	81,1	81,76	110,27	113	68,62	69,25	43,3	43,12
Desvio Padrão	9,471695334		0,10960155		0,286378246		1,081873375		2,1460081	
p*										

*p<0,05. Letras iguais indicam ausência de diferença estatística entre as médias; letras diferentes indicam diferença estatística. Fonte: Silva, 2024.

Embora este estudo tenha utilizado métricas convencionais, o uso da morfometria geométrica tem sido progressivamente mais recomendado devido à sua capacidade de identificar diferenças mais sutis entre os sexos. Estudos como os de Valenzuela *et al*. (2004) e Ferreira Júnior (2009) confirmam isso, demonstrando a eficácia dessa abordagem para testar variações de forma em quelônios, abrangendo diversas fases de desenvolvimento. Embora Valenzuela *et al*. (2004) tenham empregado essa metodologia para detectar o dimorfismo sexual

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

em tartarugas recém-nascidas, essas análises com Procrustes ANOVA também demonstram variações relevantes na forma das carapaças e plastrões de *Kinosternon scorpioides.* Ambas as pesquisas têm a habilidade de identificar variações de forma que os métodos convencionais costumam ignorar. Além disso, a comparação pode revelar semelhanças nas conclusões a respeito da eficácia da morfometria geométrica na identificação de dimorfismo em distintas fases de desenvolvimento.

Ferreira Júnior (2009) utilizou a morfometria em filhotes de *Caretta caretta* (tartaruga-comum) para analisar as variações entre ninhos com distintas taxas de desenvolvimento embrionário. Além disso, seus resultados indicaram que a morfometria geométrica foi eficiente para identificar variações sutis de forma. Em comparação, nossos resultados destacam a sensibilidade do método para identificar variações relacionadas ao dimorfismo sexual, ao invés de apenas diferenças de desenvolvimento. Ambas as pesquisas confirmam a eficácia da morfometria na identificação de diferenças que os métodos tradicionais não conseguem detectar com precisão.

Ao analisar os componentes simétricos e assimétricos, as carapaças não mostraram diferença relevante em relação ao lado, e o efeito "Side" não foi significativo. Em contrapartida, no caso dos plastrões, o efeito "Side" foi extremamente relevante ($F = 9{,}41$, $p < 0{,}0001$), apontando para uma assimetria direcional. Isso indica que os plastrões exibem variações laterais, possivelmente indicando diferenças funcionais ou de desenvolvimento entre machos e fêmeas, ao passo que as carapaças preservam uma simetria mais estável.

Klingenberg *et al*. (2002) investigaram a assimetria em características morfológicas de diversas espécies de vertebrados e identificaram, além disso, uma considerável assimetria direcional em estruturas morfológicas associadas ao desenvolvimento e à função. Os autores propuseram que esse tipo de assimetria pode estar relacionado a processos ontogenéticos ou pressões seletivas. De forma semelhante, nossos achados revelaram que variações laterais podem sinalizar diferenças funcionais específicas, ao passo que outras regiões do corpo, como as carapaças, tendem a apresentar maior simetria. Essa relação entre assimetria direcional e função apoia a noção de que certas estruturas evoluíram com padrões assimétricos como resposta a fatores adaptativos.

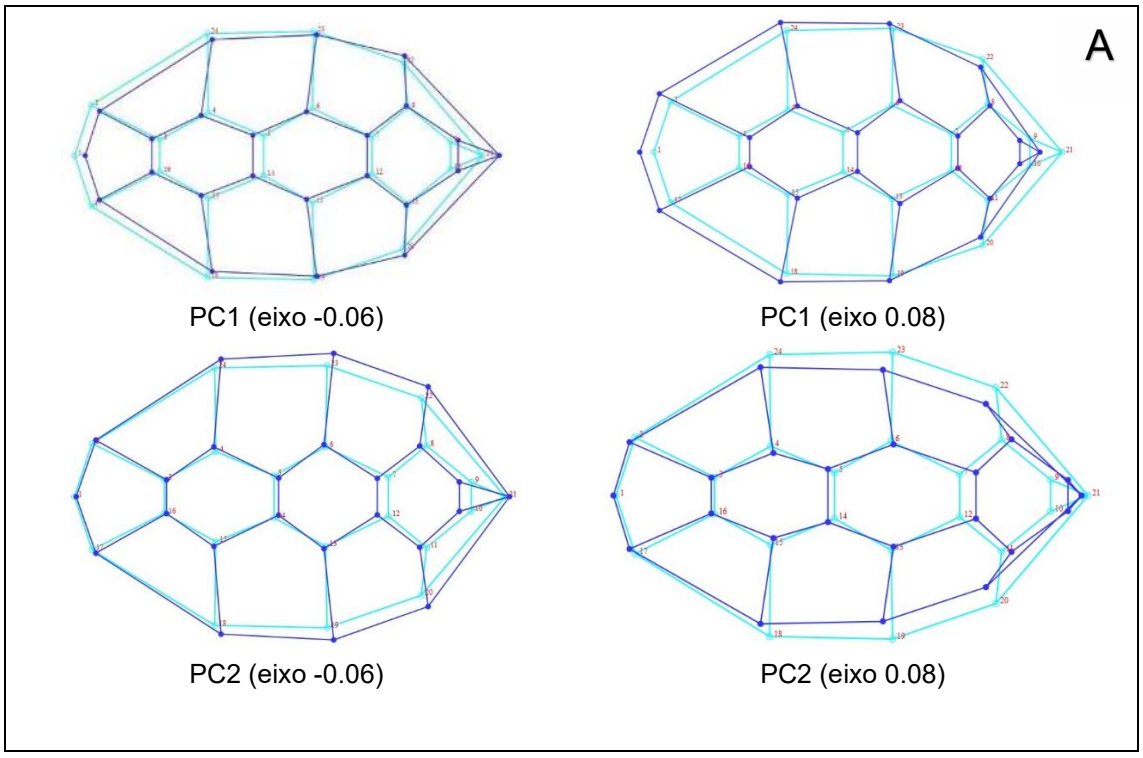
Brito *et al*. (2020) investigaram o dimorfismo sexual e a morfometria em *Mesoclemmys vanderhaegei* (cágado-do-cerrado) e descobriram variações morfométricas notáveis entre machos e fêmeas, sendo algumas dessas diferenças associadas à forma dos plastrões. Assim como em nossa pesquisa com *Kinosternon scorpioides*, os plastrões de *Mesoclemmys vanderhaegei* também exibiram assimetrias que podem indicar pressões funcionais ou de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

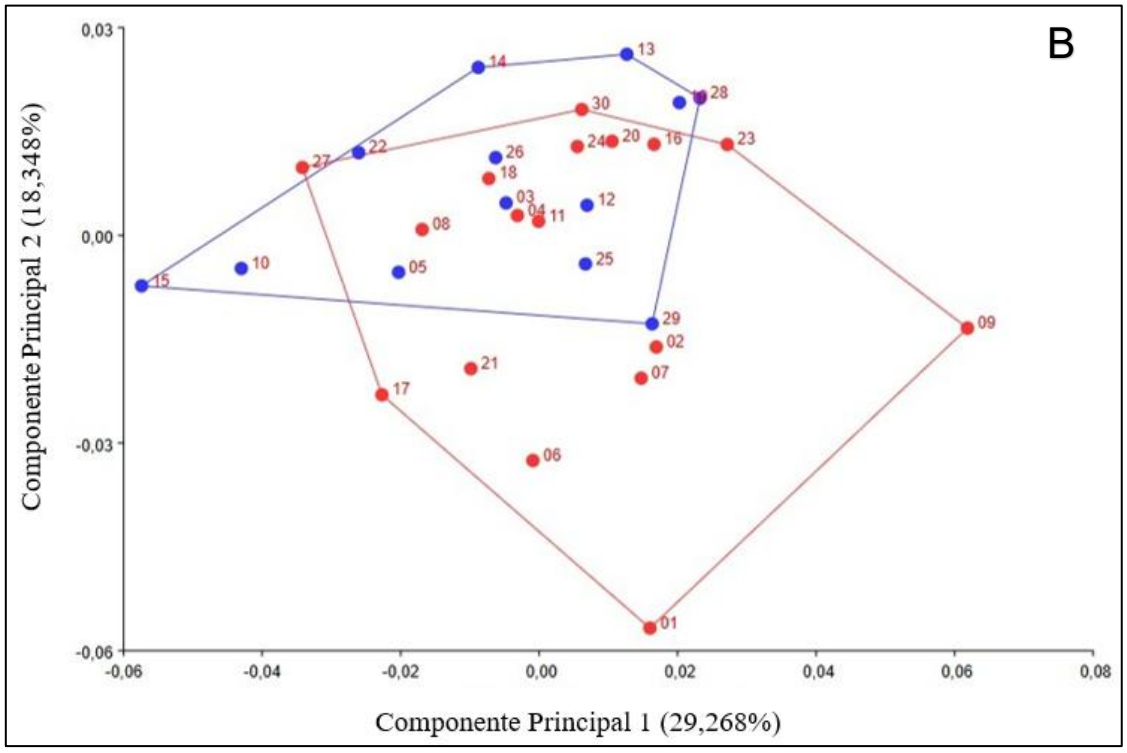
desenvolvimento ligadas ao dimorfismo sexual. A análise de Brito *et al*. (2020) sugere que as diferenças laterais em plastrões podem estar relacionadas a adaptações reprodutivas e à biomecânica de cada sexo.

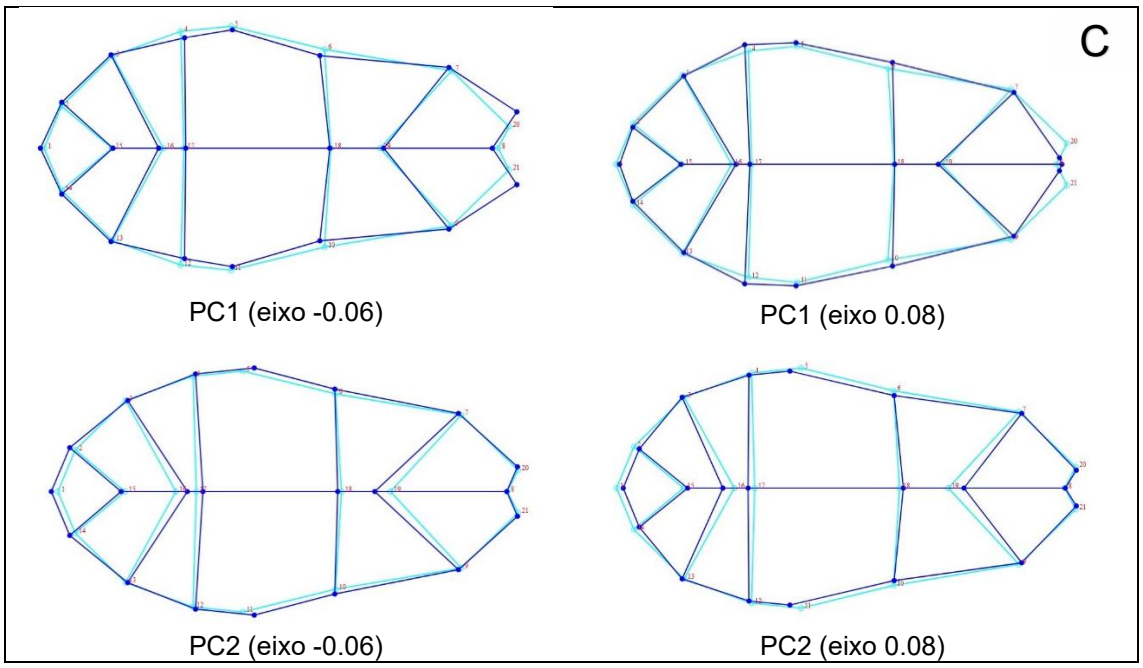
Na Análise de Componentes Principais (PCA), a variância explicada pelos componentes iniciais foi bastante semelhante entre carapaças e plastrões. Para as carapaças, o primeiro componente (PC1) explicou 29% da variância, e o segundo componente (PC2) contribuiu com 18%, somando 47% da variância explicada por esses dois componentes. No caso dos plastrões, os dois primeiros componentes representaram 48% da variância, sendo 29% atribuídos ao PC1 e 19% ao PC2. Esses resultados sugerem que tanto as carapaças quanto os plastrões apresentam uma estrutura de variação morfológica bem definida, conforme evidenciado pelos componentes principais. As diferenças notadas podem ser vistas como indícios de dimorfismo sexual, com machos e fêmeas apresentando padrões distintos em suas formas (Figura 7).

Figura 7. Análise de Componentes Principais/gráfico *wireframe* de eixo negativo e positivo de PC1 e PC2 na forma (carapaça – A e B; e plastrão C e D) entre machos e fêmeas de *Kinosternon scorpioides*.

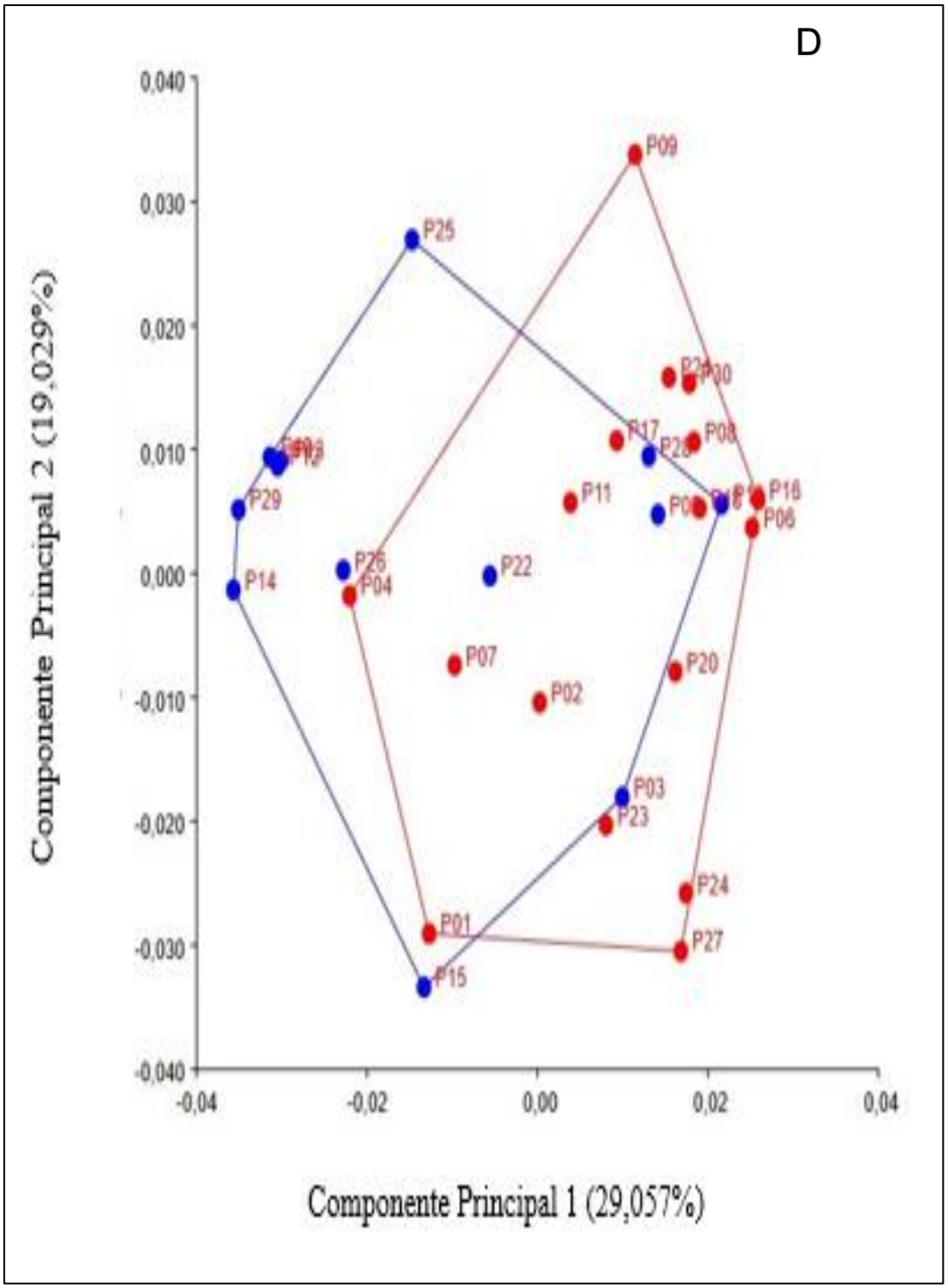


Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.





Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.



Fonte: Silva, 2024.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Em relação à Análise de Componentes Principais (PCA), Ferreira *et al*. (2018) realizaram um estudo semelhante. Ao analisar a morfologia de uma espécie de quelônio, descobriram que os dois primeiros componentes principais explicavam aproximadamente 50% da variação total, sendo o PC1 responsável pela maior parte da variância. Além disso, os autores interpretaram esses achados como evidências de diferenças sexuais nas formas das estruturas, reforçando a relevância dos primeiros componentes para capturar as variações morfológicas mais significativas na distinção entre os sexos.

De forma análoga, a pesquisa de Costa e Lima (2020), que também empregou PCA para analisar o dimorfismo sexual em quelônios, constatou que os dois primeiros componentes principais representavam cerca de 45% da variância total. A combinação do PC1 e PC2 foi suficiente para evidenciar padrões sexuais diferentes nas formas de machos e fêmeas. Assim, os autores notaram que esses componentes capturavam as variações morfológicas mais notáveis, indicando que o dimorfismo sexual estava mais ligado a diferenças na forma do que no tamanho.

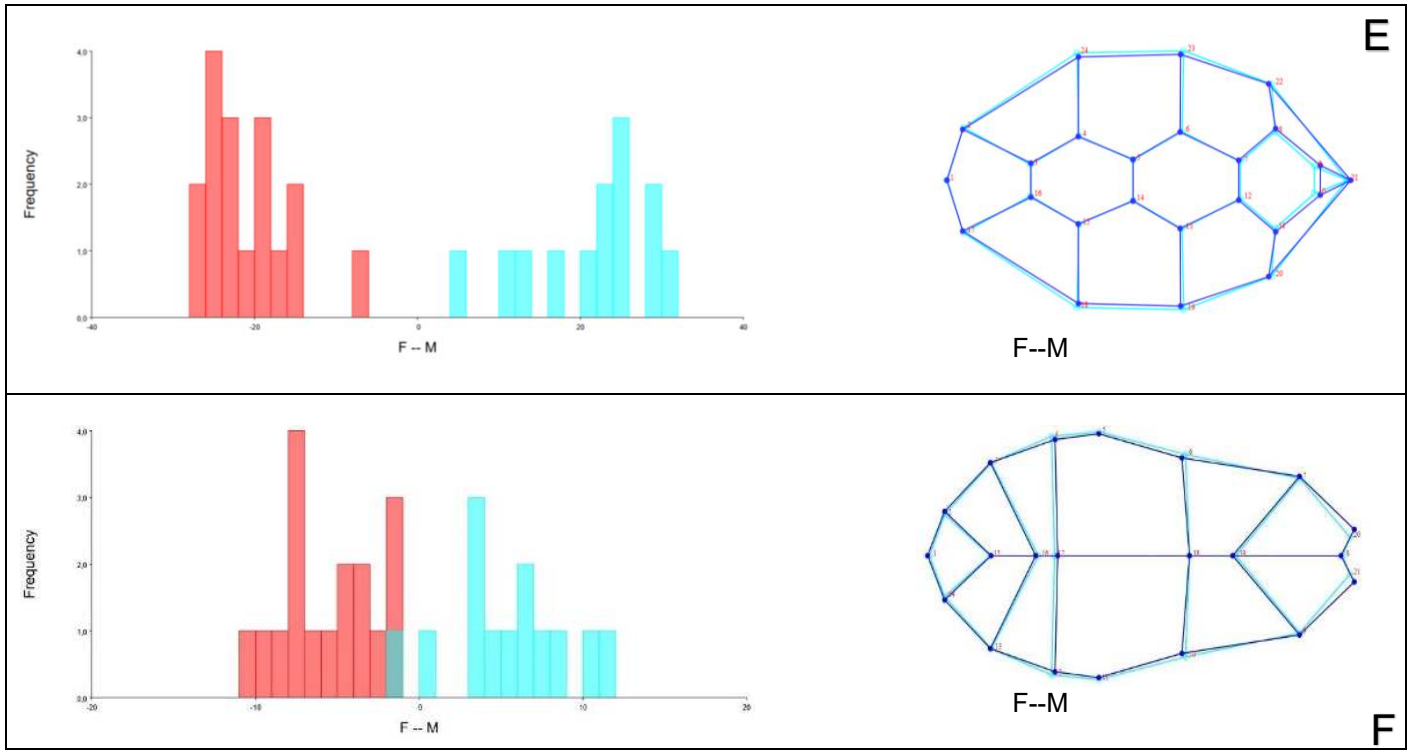
Assim sendo, a consistência dos nossos achados na Análise de Componentes Principais (PCA) corrobora os estudos de Ferreira *et al*. (2018), Costa e Lima (2020) e Brito *et al*. (2020). Em todos esses trabalhos, a PCA demonstrou ser uma ferramenta eficaz para capturar as variações morfológicas associadas ao dimorfismo sexual em quelônios, evidenciando que os componentes principais fornecem uma base sólida para interpretar essas diferenças anatômicas.

As análises de regressão alométrica confirmaram essa premissa. A relação entre o tamanho do centroide e as coordenadas morfológicas foi fraca, com p-valor não significativo, explicando apenas 4,69% da variação no plastrão, sendo os valores semelhantes para a carapaça. Os resultados indicam que, na amostra analisada, a variação de forma observada não foi fortemente explicada pelo tamanho do centroide, indicando que diferenças de forma podem contribuir de maneira relevante para a diferenciação morfológica entre os indivíduos. Bertoluci *et al*. (2019) confirmam esse padrão biológico de predominância da forma sobre o crescimento alométrico, e Chaves *et al*. (2022) acrescentam que as sutis variações morfológicas são os principais fatores que contribuem para a complexidade sexual desses quelônios.

Na Análise Discriminante (DFA), alcançou-se uma elevada capacidade de distinção entre os sexos, com uma precisão inicial de 96,7%. A Distância Procrustes foi de 0,0234 para as carapaças e de 0,0239 para os plastrões. No entanto, a validação cruzada diminuiu consideravelmente essa precisão, indicando restrições na aplicação do modelo a outras populações devido à variabilidade amostral (Figura 8).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 8. Análise Discriminante/Histograma/função *wireframe* da forma (carapaça – E e plastrão F) de *Kinosternon scorpioides*. Legenda: linha azul escuro variação, linha azul clara média, macho azul, fêmea vermelha



Fonte: Silva, 2024.

Esse padrão estatístico — elevada taxa de acerto no início, seguida de redução na validação cruzada — é uma restrição metodológica frequente, já registrada em pesquisas com tartarugas aquáticas por Silva *et al*. (2017) e Pereira e Souza (2019). Mesmo assim, as elevadas taxas iniciais de discriminação e as distâncias geométricas obtidas confirmam a eficácia dessas estruturas na separação sexual, em total alinhamento com os parâmetros validados por Chaves *et al*. (2022).

Por fim, a Análise de Variáveis Canônicas (CVA) evidenciou separação entre machos e fêmeas na amostra analisada. O primeiro valor próprio da função canônica explicou toda a variância observada nas carapaças e plastrões, respaldado por distâncias de Mahalanobis e Procrustes significativas. Essa distinção significativa demonstra a eficácia da CVA na quantificação do dimorfismo sexual, corroborando diretamente os resultados de Almeida *et al*. (2016) para quelônios em geral, bem como os de Lima *et al*. (2018), que validaram o sucesso desse método de separação específico para o *Kinosternon scorpioides.*

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que houve uma significativa variação na morfologia das carapaças e plastrões entre os espécimes analisados. Os resultados da morfometria geométrica indicaram variação morfológica que é consistente com a presença de diferenças entre os sexos. Os componentes assimétricos também mostraram que os plastrões têm assimetria direcional, enquanto as carapaças eram mais estáveis em relação à simetria. Os resultados aqui apresentados mostram disparidades na organização morfológica das estruturas analisadas.

Em relação à estruturação anatômica, a Análise de Componentes Principais (PCA) indicou que ambas as estruturas apresentam um padrão evidente de variação morfológica. Os dois primeiros componentes principais explicaram cerca de 47% da variância nas carapaças e 48% nos plastrões, indicando padrões morfológicos claramente definidos. Ademais, as análises de regressão alométrica mostraram que o tamanho do centroide não é um fator determinante nas mudanças estruturais. Os resultados indicam que as variações morfológicas da amostra estão, em sua maioria, ligadas à variação de forma, visto que o tamanho do centroide não influenciou de forma significativa as alterações estruturais observadas.

Portanto, em termos de poder de classificação metodológica, as Análises Discriminantes (DFA) demonstraram uma notável habilidade de distinção entre machos e fêmeas, obtendo uma taxa de classificação precisa de 96,7% para os plastrões. No entanto, a diminuição da precisão na validação cruzada sinaliza que os resultados devem ser considerados com cuidado, especialmente no que diz respeito à aplicação do modelo em outras amostras ou populações. A Análise de Variáveis Canônicas (CVA) também evidenciou diferenciação entre os grupos sexuais, reforçando o potencial da morfometria geométrica como ferramenta complementar para a investigação do dimorfismo sexual em *Kinosternon scorpioides*.

Dessa forma, este estudo revela algumas restrições, como a pequena dimensão da amostra (30 indivíduos), a origem proveniente de uma única população de Cachoeira do Arari e a falta de validação externa do modelo discriminante. Assim, sugere-se que pesquisas posteriores analisem populações de diferentes regiões e empreguem amostras independentes para verificar a consistência dos modelos de classificação obtidos por meio da morfometria geométrica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A.; SILVA, T. R.; MARTINS, E. B.; VIEIRA, C. A. Dimorfismo sexual em quelônios: uma abordagem utilizando Análise de Variáveis Canônicas. **Journal of Herpetology**, v. 50, n. 1, p. 55-62, 2016.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

ANDRADE, E. B. First documented record of Kinosternon scorpioides (Chelonia: Kinosternidae) in the state of Piauí, Northeastern Brazil. **Pesquisa e Ensino em Ciências Exatas e da Natureza**, v. 3, n. 2, p. 216-223, 2019.

BERRY, J. F.; SHINE, R. Sexual size dimorphism and sexual selection in turtles (order Testudines). **Oecologia**, v. 44, p. 185–191, 1980. DOI: https://doi.org/10.1007/BF00572678.

BERTOLUCI, J.; CARAMASCHI, M.; ROCHA, P. L. B. Dimorfismo sexual em Phrynops geoffroanus (Testudines, Chelidae): variação da forma e do tamanho entre os sexos. **Herpetological Journal**, v. 13, n. 2, p. 45-54, 2019.

BRITO, E. S. et al. Sexual dimorphism and morphometrics in two populations of the Neotropical freshwater turtle Mesoclemmys vanderhaegei (Testudines, Chelidae). **Zoologia**, v. 37, e20200004, 2020. DOI: 10.3897/zoologia.37.e20200004.

CHAVES, E. P. et al. Sexual dimorphism in Kinosternon scorpioides (Linnaeus, 1766) from the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p. e264358, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/1519-6984.264358.

COSTA, M. T.; LIMA, R. A. Variação morfológica em quelônios e a identificação de padrões sexuais. **Journal of Herpetology**, v. 40, n. 4, p. 145-150, 2020.

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, 2006. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00512.x.

FERNANDO, F. F. **FFCLRP: Introdução à Estatística**. [s. l.], 2020.

FERREIRA, J. S.; SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. R. Análise morfométrica de quelônios e a relação com o dimorfismo sexual. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 35, n. 2, p. 123-130, 2018.

FERREIRA JÚNIOR, P. D. **Influência dos processos sedimentológicos e geomorfológicos na escolha das áreas de nidificação de Podocnemis expansa (tartaruga-da-amazônia) e Podocnemis unifilis (tracajá) na bacia do rio Araguaia**. 2003. Tese (Doutorado) – Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

FERREIRA JÚNIOR, P. D. Aspectos ecológicos da determinação sexual em tartarugas. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 139-154, 2009. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672009000100014.

IVERSON, J. B.; LINDEMAN, P. V.; LOVICH, J. E. Understanding reproductive allometry in turtles: A slippery “slope”. **Ecology and Evolution**, v. 9, n. 20, p. 11891–11903, 2019.

KLINGENBERG, C. P.; BARLUENGA, M.; MEYER, A. Shape analysis of symmetric structures: quantifying variation among individuals and asymmetry. **Evolution**, v. 56, n. 10, p. 1909-1920, 2002. DOI: https://doi.org/10.1111/j.0014-3820.2002.tb00117.x.

LIMA, J. S. et al. Sexual dimorphism in Kinosternon scorpioides: a canonical variates analysis. **Zoologia**, v. 35, n. 4, p. 349-357, 2018.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

LYRA, M. L.; HATADANI, L. M.; AZEREDO-ESPIN, A. M. L.; KLACZKO, L. B. Wing morphometry as a tool for correct identification of primary and secondary new world screwworm fly. **Bulletin of Entomological Research**, v. 100, p. 19-26, 2010.

MONTEIRO, L. R.; REIS, S. F. **Princípios de morfometria geométrica**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 1999.

PANTOJA-LIMA, J. **Integração de conhecimento ecológico tradicional e da ecologia de populações para a conservação de quelônios (Testudines: Podocnemididae) no Rio Purus, Amazonas, Brasil**. 2012. Tese (Doutorado em Biologia – Ecologia) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2012. Disponível em: https://repositorio.inpa.gov.br/handle/1/12281.

PEREIRA, L. A. et al. Características ecológicas do habitat de Kinosternon scorpioides scorpioides Linnaeus, 1766 (Reptilia, Chelonia, Kinosternidae) no município de São Bento – Baixada Maranhense (Maranhão, Brasil). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, São Luís, v. 20, 2014.

PEREIRA, R. S.; SOUZA, A. L. Morphometric and sex determination in Podocnemis expansa using discriminant analysis. **Journal of Morphology**, v. 280, n. 5, p. 707-713, 2019.

PEZZUTI, J. C. B. **Ecologia e etnoecologia de quelônios no Parque Nacional do Jaú, Amazonas, Brasil**. 2003. Tese (Doutorado) – [s. n.], [s. l.], 2003.

PEZZUTI, J. C. B. Manejo de caça e a conservação da fauna silvestre com participação comunitária. **Papers do NAEA**, v. 1, n. 1, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v18i1.11382.

RODRIGUES, W. G. A. et al. Modelo de criação em cativeiro e aspectos sobre o manejo de Kinosternon scorpioides. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 254, p. 309-315, 2017. DOI: https://doi.org/10.21071/az.v66i254.2336.

SILVA, A. L. et al. Discriminating sexual dimorphism in aquatic turtles using morphometric analyses. **Herpetological Review**, v. 48, n. 3, p. 400-406, 2017.

SILVA-DA-SILVA, J. et al. Sexual dimorphism in the turtle Kinosternon scorpioides (Testudines: Kinosternidae) from Marajó Island, Brazilian Amazon. **Revista de Biología Tropical**, v. 69, n. 2, p. 601–614, 1 jun. 2021.

SÖNMEZ, B.; BAĞDA, E.; CANDAN, O.; YILMAZ, H. E. Sex determination in green turtle hatchlings: geometric morphometry and molecular sex markers. **Natural and Engineering Sciences**, v. 4, n. 1, p. 42-54, 2019.

VALENZUELA, N. et al. Geometric morphometric sex estimation for hatchling turtles: a powerful alternative for detecting subtle sexual shape dimorphism. **Copeia**, v. 2004, n. 4, p. 735-742, 2004. DOI: 10.1643/CH-03-248R1.

VAN DER MOLEN, S.; MARTÍNEZ-ABADÍA, N.; GONZÁLEZ, R. **Introducción a la Morfometría Geométrica: Manual del Curso Teórico-Práctico**. Barcelona: Universidad de Barcelona, 2007.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

VIANA, D. C. et al. Seasonal morphological variation of the vas deferens of scorpion mud turtle (Kinosternon scorpioides). **Biota Neotropica**, v. 14, n. 3, e20130064, 2014.

ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKI, D. L.; SHEETS, H. D. **Geometric morphometrics for biologists: a primer**. 2. ed. London: Academic Press, 2012.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.