



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS
MESTRADO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS

LUCAS BRITO

PADRÕES MORFOGEOMÉTRICOS DE *Anomalocardia flexuosa* (LINNAEUS, 1767)
(BIVALVIA: VENERIDAE) AO LONGO DA COSTA BRASILEIRA

FORTALEZA

2024

LUCAS BRITO

PADRÕES MORFOGEOMÉTRICOS DE *Anomalocardia flexuosa* (LINNAEUS, 1767)
(BIVALVIA: VENERIDAE) AO LONGO DA COSTA BRASILEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Gestão Costeira e Oceânica.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Cristina de Almeida Rocha-Barreira.

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Mendonça de Almeida.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- 3876p Brito, Lucas.
Padrões morfogeométricos de *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) (Bivalvia: Veneridae) ao longo da costa brasileira / Lucas Brito. – 2024.
56 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2024.
Orientação: Profa. Dra. Cristina de Almeida Rocha-Barreira.
Coorientação: Prof. Dr. Sérgio Mendonça de Almeida.
1. Moluscos. 2. Morfologia. 3. Ecologia. 4. Morfometria Geométrica. I. Título.

CDD 551.46

LUCAS BRITO

PADRÕES MORFOGEOMÉTRICOS DE *Anomalocardia flexuosa* (LINNAEUS, 1767)
(BIVALVIA: VENERIDAE) AO LONGO DA COSTA BRASILEIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais. Área de concentração: Ciência, Tecnologia e Gestão Costeira.

Aprovada em: 29/05/2024

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Cristina de Almeida Rocha-Barreira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr^a. Eliane Pintor de Arruda
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Dr^a. Ítala Alves de Oliveira
Secretaria Municipal de Agricultura e Pesca de Grossos/RN

À minha família, por sempre acreditarem e investirem em mim. Mãe, seu amor, cuidado e dedicação foi que deram, em alguns momentos, a esperança e a força para seguir. Obrigado por me dar a certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

A prof^a. Dr^a. Cristina de Almeida Rocha-Barreira pela orientação, conselhos e cafés compartilhados ao longo desses anos.

Ao prof. Dr. Sérgio Mendonça de Almeida pela paciência e generosidade de compartilhar seus conhecimentos e me auxiliar no processo de produção desta dissertação.

A todos os colegas e amigos do Laboratório de Zoobentos do Instituto de Ciências do Mar pelos tantos momentos compartilhados durante nossos dias de trabalho, conversa, risadas e discussões (das sérias até as mais absurdas) ao longo dos últimos nove anos. Obrigado por tanto e por tudo!

A todos os amigos queridos que, tanto no dia a dia quanto a distância, me incentivaram e apoiaram a concluir essa etapa. Andressa Carvalho, Ana Clara Aguiar Bernardo, Edmundo Magalhães, Gabriele Fontenele, Graziella Morais, Isabella Pereira, Jin Lopes, José Evilásio Jr., Maria Clara Moraes, Nilton César, Ocione Dias Filho, Tiffany Teles de Mendonça e tantos outros que cometerei a injustiça de não os citar nominalmente. De Portugal a Parnaíba, Fortaleza ou São José dos Campos, saber que tenho com quem contar quando o mundo parece muito difícil para se lidar sozinho é reconfortante. Muitíssimo obrigado sempre.

A minha família, em especial a minha mãe, Maria das Graças Brito da Costa, por sempre acreditar no meu potencial e ajudar a alimentar meus sonhos.

A todos os funcionários e servidores do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará pelo trabalho para manter um centro acadêmico tão importante para nossa ciência vivo e de pé.

A todos os amigos feitos pelo caminho durante as etapas de amostragem deste trabalho, em especial aqueles que se propuseram a ajudar um pesquisador desconhecido em busca de conchas, em especial a amiga Natalia Beloto e Florência Cristina pelas conchas do Pará e de Itamaracá, Renato Fróes e Maria Clara Moraes por toda a ajuda no Maranhão, a D. Luiza Santos pela ajuda no Piauí, a toda a equipe do projeto PRADOS-CE do Laboratório de Zoobentos por sempre me terem na memória nos seus campos, a Dra. Ítala Alves pelo material do Rio Grande do Norte, ao Leonardo Rocha pelo material de Sergipe, aos amigos Roberto e Ana Paula Benevides pelo acolhimento no Espírito Santo e a Romina Velásquez Guzmán pela ajuda e tudo o que foi vivido em Ihabela.

Vocês provavelmente não têm a dimensão de como e o quanto mudaram minha vida. Muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

``Digo: o real não está na saída nem na chegada: ele se dispõe para a gente é no meio da travessia.''

(João Guimarães Rosa)

RESUMO

Anomalocardia flexuosa é um molusco bivalve escavador raso, podendo ser encontrado em diferentes meios ao longo da costa brasileira, sendo relevante socioeconomicamente para diversas comunidades humanas. As conchas dos moluscos refletem a diversidade de modos de vida que possuem e diversos fatores ambientais podem influenciar seu formato. Abordagens quantitativas de formas biológicas como a morfometria geométrica introduzem rigor matemático e estatístico necessários para a descrição e comparação dessas formas. Amostras de 100 indivíduos adultos de comprimento maior ou igual a 13,80 mm de localidades ao longo da costa brasileira tiveram os tecidos moles retirados e as conchas fotografadas a distância fixa por um único observador. Foram marcados 14 pontos baseados em características da concha facilmente reconhecíveis e representam charneira, músculos adutores e as áreas do escudo e lúnula. A Análise Generalizada de *Procrustes* (GPA) remove informações de posição, escala e orientação, a fim de analisar somente variações relacionadas a forma. Com base nesta matriz de dados, foram realizadas análises para comparar a forma da concha em relação ao tamanho dos espécimes, principais mudanças dentro das populações por meio de uma Análise de Componentes Principais (PCA) e mudanças considerando todas as amostras por uma Análise de Variáveis Canônicas (CVA). O estudo analisou 1872 indivíduos de *A. flexuosa* coletados em 12 estados brasileiros, com tamanhos variando entre 13,81 e 36,29mm de comprimento. Os espécimes de *A. flexuosa* de Bragança/PA foram identificados como os maiores, enquanto os de Icapuí/CE, Rio Tinto/PB e Camocim/CE foram os menores. A ANOVA indicou que o formato da concha muda significativamente com o tamanho dos indivíduos e entre as amostras. A PCA explicou 60,78% da variação na forma da concha, com alterações notáveis na extremidade posterior e nas bordas da concha. A CVA resultou em dois eixos principais, mostrando sobreposição das amostras, mas também dissimilaridades que auxiliam na distinção dos grupos. As diferenças mais notáveis ocorreram na região da borda e na angulação da dentição e do músculo adutor posterior, assim como alterações nos pontos ligados ao seio palial e à dentição. As diferenças de habitat e clima resultam em conchas maiores nos extremos da distribuição. A disponibilidade de recursos pode ter controle direto sobre o tamanho do corpo adulto. O tamanho do corpo é influenciado por compensações ecológicas e evolutivas entre crescimento, disponibilidade de recursos, reprodução, predação, longevidade e outros fatores, além de eventos históricos. A análise sugere que a variação na forma da concha pode ser influenciada por fatores ambientais e genéticos. A pesquisa conclui que a morfometria geométrica é uma ferramenta eficaz para estudar a variação na forma e

tamanho das conchas de bivalves. Os resultados mostraram diferenças significativas na forma da concha ao longo da distribuição da espécie na costa brasileira. A GPA e a PCA permitiram uma visão detalhada das variações da forma da concha. Os métodos morfométricos utilizados neste estudo provaram ser uma abordagem eficaz, precisa e de baixo custo para estudar a variação da forma da concha de *A. flexuosa*, e podem ser estendidos a outras populações de invertebrados marinhos, especialmente bivalves.

Palavras-chave: Moluscos; Morfologia; Ecologia; Morfometria Geométrica.

ABSTRACT

Anomalocardia flexuosa is a shallow burrowing bivalve mollusc which can be found in different environments along the Brazilian coast, being socioeconomically relevant for various human communities. The shells of molluscs reflect the diversity of lifestyles they possess and various environmental factors can influence their shape. Quantitative approaches to biological forms such as geometric morphometrics introduce necessary mathematical and statistical rigor for the description and comparison of these forms. Samples of 100 adult individuals, with a length greater than or equal to 13.80mm from locations along the Brazilian coast had their soft tissues removed and the shells photographed at a fixed distance by a single observer. Fourteen points were marked based on easily recognizable shell features and represent hinge, adductor muscles, and the areas of the shield and lunule. The Generalized Procrustes Analysis (GPA) removes information on position, scale, and orientation, in order to analyze only variations related to shape. Based on this data matrix, analyses were carried out to compare the shape of the shell in relation to the size of the specimens, main changes within the populations (PCA) and changes considering all samples (CVA). The study analyzed 1872 individuals of *A. flexuosa* collected in 12 Brazilian states, with sizes varying between 13.81 and 36.29mm in length. The specimens of *A. flexuosa* from Bragança/PA were identified as the largest, while those from Icapuí/CE, Rio Tinto/PB, and Camocim/CE were the smallest. The ANOVA indicated that the shape of the shell changes significantly with the size of the individuals and between the samples. The PCA explained 60.78% of the variation in the shape of the shell, with notable changes in the posterior end and the edges of the shell. The CVA resulted in two main axes, showing overlap of the samples, but also dissimilarities that aid in the distinction of the groups. The most notable differences occurred in the region of the edge and the angulation of the dentition and the posterior adductor muscle, as well as changes in the points linked to the pallial sinus and the dentition. Differences in habitat and climate result in larger shells at the extremes of the distribution. The availability of resources can have direct control over adult body size. Body size is influenced by ecological and evolutionary trade-offs between growth, resource availability, reproduction, predation, longevity, and other factors, in addition to historical events. The analysis suggests that the variation in the shape of the shell may be influenced by environmental and genetic factors. The research concludes that geometric morphometrics is an effective tool for studying the variation in the shape and size of bivalve shells. The results showed significant differences in the shape of the shell along the distribution of the species on the Brazilian coast. The GPA and PCA allowed a detailed view

of the variations in the shape of the shell. The morphometric geometrics methods used in this study proved to be an effective, accurate, and low-cost approach to studying the variation in the shape of the shell of *A. flexuosa* and can be extended to other populations of marine invertebrates, especially bivalves.

Keywords: Molluscs; Morphology; Ecology; Geometrics Morphometrics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Localização das amostras utilizadas no estudo.....	18
Figura 2	– Valva esquerda de <i>Anomalocardia flexuosa</i> mostrando os marcos anatômicos usados para a análise. Landmarks: 1 - Ponta do umbo; 2 - Junção ventral da lúnula com a margem comissural; 3 - Ponta ântero ventral do dente cardinal anterior; 4 - Ponta dorsal do dente cardinal média; 5 - Extremidade ântero-ventral do dente cardinal médio; 6 - Ponta ventral da cavidade dentária cardinal médio; 7 - Ponta dorsal da cicatriz do músculo adutor/retrator anterior; 8 - Junção da ponta ventral da cicatriz do músculo adutor anterior e linha palial; 9 - Ponta dorsal da cicatriz do músculo retrator/adutor posterior; 10 - Junção da ponta ventral da cicatriz do músculo adutor posterior e linha palial; 11 - Extremidade posterior da concha; 12, 13, 14 - Extremidades da concha.....	20
Figura 3	– Princípios da morfometria geométrica para a análise da concha de <i>Anomalocardia flexuosa</i>	21
Figura 4	– Histogramas de frequência de comprimento da concha de <i>Anomalocardia flexuosa</i> de cada população.....	25
Figura 5	– Configuração de consenso dos landmarks (pontos azuis) com a variação em torno de cada ponto numerado. Os pontos pretos representam cada espécime. No fundo, uma concha representativa foi adicionada para ajudar a entender a forma e a posição da concha.....	26
Figura 6	– Variação do tamanho do centróide entre as amostras com médias e erro padrão de 95%.....	27
Figura 7	– Regressão entre o tamanho do centróide e o escore de regressão, com os <i>wireframes</i> do menor do maior indivíduo destacados e comparados à forma do consenso.....	29
Figura 8	– Gráfico da Análise de Componentes Principais (PCA) de <i>A. flexuosa</i> separados por amostra e comparação da variação total do PC1 e do	30

indivíduos que mais variaram em cada extremo deste eixo. A forma consensual é representada em azul claro e a variação em azul escuro.....

- Figura 9 – Gráfico da Análise de Componentes Principais (PCA) de *A. flexuosa* separados por amostra e comparação da variação total do PC2 e dos indivíduos que mais variaram em cada extremo deste eixo. A forma consensual é representada em azul claro e a variação em azul escuro..... 31
- Figura 10 – Gráfico da Análise de Componentes Principais (PCA) de *A. flexuosa* separados por amostra e comparação da variação total do PC3 e dos indivíduos que mais variaram em cada extremo deste eixo. A forma consensual é representada em azul claro e a variação em azul escuro..... 32
- Figura 11 – Gráfico da Análise de Variáveis Canônicas (CVA) para as amostras de *A. flexuosa* com indivíduos que mais variaram em cada extremo das dimensões. A forma consensual é representada em azul claro e a variação em azul escuro..... 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Detalhes das áreas de estudo. N = número de indivíduos.....	23
Tabela 2 – Descritivos dos comprimentos de cada amostra do estudo.....	24
Tabela 3 – ANOVA dos resíduos de <i>Procrustes</i> para variação a forma e do tamanho de centróide para as populações de <i>Anomalocardia flexuosa</i> . SS = Somatória dos Quadrados; MS = Média das Somatórias dos Quadrados; df = = Graus de Liberdade.....	28
Tabela 4 – Resultados da análise de regressão entre a forma e o escore de regressão para as amostras de <i>Anomalocardia flexuosa</i> . SS = Somatória dos Quadrados.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MAD	Desvio Absoluto Médio
GPA	<i>Generalized Procrustes Analysis</i>
PCA	<i>Principal Components Analysis</i>
CVA	<i>Canonical Variate Analysis</i>
ANOVA	Análise de Variância

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	HIPÓTESE	17
3	OBJETIVOS	17
3.1	Objetivo Geral	17
3.2	Objetivos Específicos	17
4	MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1	Amostragem e Trabalho de Laboratório	18
4.2	Análise Morfométrica	19
4.2.1	<i>Morfometria Linear</i>	19
4.2.2	<i>Análise Morfogeométrica</i>	19
4.3	Análise de Dados	21
4.3.1	<i>Análise de Componentes Principais (PCA)</i>	21
4.3.2	<i>Análise de Variáveis Canônicas (CVA)</i>	22
4.3.3	<i>Procrustes ANOVA</i>	23
5	RESULTADOS	23
5.1	Morfometria Linear	24
5.2	Análise Morfogeométrica	26
6	DISCUSSÃO	33
6.1	Morfometria Linear	33
6.2	Análise Morfogeométrica	34
7	CONCLUSÕES	38
8	REFERÊNCIAS	39

1 INTRODUÇÃO

Os ecossistemas oceânicos e costeiros sustentam a vida na Terra e muitos aspectos do bem-estar humano (Cooley *et al.*, 2022). Os habitats costeiros fornecem diversos serviços ecossistêmicos importantes, incluindo aquicultura, turismo, recreação, armazenamento de carbono e regulação de nutrientes (Barbie *et al.*, 2011; Jones *et al.*, 2016; Beloto *et al.*, 2023). Um dos serviços mais proeminentes prestados é a capacidade do suporte à vida de variados grupos, como bivalves, espécies-chave em habitats estuarinos e costeiros. Dentre animais aquáticos, características como a sua natureza sésbil ou baixa mobilidade, adjuntas a amplas distribuições e abundâncias em determinadas áreas conferem ao grupo relevância enquanto bioindicadores ambientais (Zagatto e Bertolotti, 2008; Helmholtz *et al.*, 2016) e mantenedores de funções ecológicas essenciais na caracterização trófica de ecossistemas (Pinto, 2012).

Anomalocardia flexuosa (Linnaeus, 1767) é um molusco bivalve escavador raso, podendo ser encontrado em diferentes meios, como praias arenosas, areno-lodosas, manguezais, fundos arenosos em ambientes coralíneos e em pradarias marinhas (Rodrigues, Azevedo e da Silva, 2010; Barros, Rocha-Barreira e Magalhães, 2016; Creed *et al.*, 2018; Oliveira, 2019; Kunsook e Dumrongrojwatthana, 2023). Pode ocorrer em populações que podem variar de poucas dezenas a milhares de indivíduos por metro quadrado (Boehs, Absher e Cruz-Kaled, 2008; Silva-Cavalcanti e Costa, 2011; Belém, Moura e Henry-Silva, 2013; Oliveira, 2019) e têm sido caracterizadas por apresentar considerável variabilidade temporal e espacial (Pezzuto e Silva, 2015; Corte *et al.*, 2015; Silva-Cavalcanti, Costa e Alves, 2018; Nascimento *et al.*, 2022).

A concha de *A. flexuosa* é trigonal, inflada, sólida, com forte carena radial delimitando a região dorsal posterior da concha. Externamente, apresenta uma coloração em tons de creme, ornamentada por linhas e manchas variadas, sendo composta tanto por camadas de aragonita como por fases de calcita (Taylor, Kennedy e Hall, 1973; Shimamoto, 1986; Denadai *et al.*, 2006; Rios, 2009). Esta ornamentação assume a forma de cristas aproximadamente concêntricas, cada uma das quais assimétricas na seção transversal, apresentando uma inclinação dorsal acentuada e uma inclinação ventral suave. Os segmentos anteriores que compõem as cristas na concha deslizam facilmente através do sedimento à medida que o animal gira para frente e agarra o sedimento na rotação para trás seguinte, de modo a evitar deslizamento para cima (Stanley, 1981). Estas ornamentações reduziram substancialmente a capacidade de escavação da espécie, embora tenha aumentado a capacidade de resistir a mudanças severas de temperatura e dessecação durante a exposição

aérea nas marés baixas (Lima *et al.*, 2009; Medeiros *et al.*, 2016; Corte, Coleman e Amaral, 2017; Oliveira, 2019; Vaquero, Sühnel e Cargnin-Ferreira 2022).

A espécie é amplamente distribuída e bastante comum ao longo do Atlântico Ocidental, desde o sul da Flórida (EUA) ao estado de Santa Catarina (Barreira e Araújo, 2005; Rios, 2009) e assim como outras espécies presentes ao longo da costa brasileira, tem importância socioeconômica, sendo comercializada e consumida em diferentes escalas por comunidades litorâneas (Boehs, 2000; Mourão *et al.*, 2021; da Cunha *et al.*, 2023), além de ser um importante elo entre produtores primários e consumidores como caranguejos, camarões, peixes e aves (Checon *et al.*, 2023; Rocha-Barreira e Rosa-Filho, 2023; Liu *et al.*, 2024).

As conchas dos moluscos refletem a diversidade de modos de vida que possuem, o que acarreta variações morfológicas e ajudam a constituir um registro semipermanente de sua ocorrência. Tais variações são o resultado de interações responsivas de combinações de fatores ambientais e genéticos (Gonçalves e Lana, 1991; Roopnarine, Signorelli e Laumer, 2008; Resende, 2016), induzindo a uma plasticidade fenotípica que, sendo um importante mecanismo de resposta a essa variabilidade, permite que os organismos lidem com mudanças em diversas escalas espaciais e temporais (Zelditch, Swidersky e Sheets, 2012; Bonamour *et al.*, 2019). Além disso, mudanças ontogenéticas na morfologia da concha (tamanho e forma) e certas características da concha são resultado de estratégias adaptativas para resistir a condições ambientais e hábitos de vida (Stanley, 1981; Silva *et al.*, 2023).

Diversos fatores ambientais influenciam o formato da concha, alguns endógenos (genéticos e fisiológicos) e outros exógenos (interações bióticas e abióticas), como latitude, profundidade; exposição às marés ou nível da costa; fatores hidrodinâmicos da água, como ondas, turbulência e correntes; tipos de substrato; salinidade; condições tróficas; tipo de predador natural e parasitismo (Matthews-Cascon e Lotufo, 2006; Funk e Reckendorfer, 2008; Cail-Milly *et al.*, 2014; Silva-Cavalcanti, Costa e Alves, 2018). Além disso, o tipo de habitat e o comportamento também afetam o crescimento relativo e a forma das espécies de bivalves, incluindo sua concha (Bayer *et al.*, 2016; Islami e Dody, 2018; Morton, Leung e Leung, 2021; Morán *et al.*, 2022; Chauhan *et al.*, 2024; Yeoh *et al.*, 2024).

Assim, abordagens quantitativas destas formas biológicas como a morfometria geométrica introduzem rigor matemático e estatístico necessário para a descrição e comparação entre morfologias (Adams, Rohlf e Slice, 2004; Zelditch, Swidersky e Sheets, 2012). A morfometria linear ou clássica utiliza métodos univariados ou multivariados aplicados a medidas como: Largura, Comprimento e Altura, geralmente obtidas diretamente

do animal e amplamente utilizadas para descrever, comparar e distinguir formas (Rufino *et al.*, 2006; Aguirre *et al.*, 2015; Collins, Edie e Jablonksi, 2020). Contudo, medidas lineares básicas podem não ser descritivas o suficiente para informar com precisão as diferenças entre tamanho e forma de estruturas, uma vez que tendem a ser autocorrelacionadas com o tamanho dos animais e assim tornam-se descritores de forma pouco sofisticados e insuficientes para capturar informações significativas sobre a forma de um organismo (Motta e Kotschal, 1991; Babaei *et al.*, 2010; Moneva *et al.*, 2014; López-Rocha *et al.*, 2018). A forma das estruturas biológicas é complexa e permite uma alta plasticidade morfológica e, por causa disso, informações cruciais podem ser perdidas se apenas as medidas morfométricas lineares forem aplicadas (Turra *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2020; Dabrowski *et al.*, 2023).

Enquanto o objeto da morfometria clássica é a variação da forma e da covariação entre variáveis, os avanços voltados à computação e a análises estatísticas promoveram mudanças profundas no campo de estudo da morfologia, tamanho e forma dos organismos (Rohlf e Marcus, 1993; Marcus *et al.*, 1996; Mitteroecker e Gunz, 2009; Klingenberg, 2010a). A aplicação das técnicas da morfometria geométrica a partir de caracteres multivariados, que consideram simultaneamente diversas características de estruturas corporais complexas, são baseadas em marcos anatômicos (*landmarks*) (Marcus *et al.*, 1996; Rohlf, 2000; Adams e Otárola-Castillo, 2013; Wärmländer *et al.*, 2018). Os métodos da morfometria geométrica permitem a derivação de componentes de forma e tamanho, preservando as principais propriedades geométricas dos indivíduos estudados. Estes dados utilizados na descrição da geometria do objeto de interesse, seja em duas ou três dimensões de coordenadas de pontos anatômicos morfológicos, são baseados em pontos simples usados para localizar e descrever as diferenças nas formas do objeto de estudo. A ênfase é dada aos landmarks homólogos, permitindo uma interpretação biológica mais completa e realista dos resultados (Rohlf e Marcus, 1993).

O estudo da forma é uma importante ferramenta para auxiliar num melhor entendimento de aspectos como taxonomia e filogenia (Roopnarine e Vermeij, 2000; Morais *et al.*, 2014; Marinho e Arruda, 2021; Signorelli, Trovant e Márquez, 2022), evolução (Anderson e Roopnarine, 2005; Neubauer, Harzhauser e Mandic, 2013; Sherratt *et al.*, 2016; Morán *et al.*, 2018; Perez e Santelli, 2018; Vaux *et al.*, 2018; Roberson e Casey, 2019), monitoramento de estoques pesqueiros (Palmer, Pons e Linde, 2004; Márquez *et al.*, 2010; Márquez, Trivellini e Van der Molen, 2017; Getino Mamet *et al.*, 2021), variações populacionais (Roopnarine, Signorelli e Laumer, 2008; Valladares, Manríquez e Suárez-Isla, 2010; Signorelli, Márquez e Pastorino, 2013; Uba, 2019) e variações genéticas (Inoue *et al.*,

2014; Gagnon *et al.*, 2015; Purroy *et al.*, 2016; Keogh e Simons, 2019; Beauchamp *et al.*, 2020; Beyett *et al.*, 2020; Ferreira Gonçalves *et al.*, 2023).

Por outro lado, são mais escassos estudos que se aprofundem na discussão sobre a influência de gradientes latitudinais na morfologia da concha em bivalves. Estas alterações, resultados de interações entre organismos e seu habitat podem ser desvendadas por meio de análises ao longo de gradientes latitudinais, onde diferentes pressões ambientais podem ser exploradas em processos biológicos e evolutivos (Stanley, 1970; Roy, Jablonski e Martien, 2000; Estrada, 2004; Chavaud *et al.*, 2012; Tomašových *et al.*, 2016).

As conchas dos moluscos podem registrar diversos fatores ambientais na forma de suas propriedades geoquímicas, estrutura da concha e taxas de crescimento e, dependendo da espécie e do habitat, as variáveis ambientais podem até ser mais relevantes do que as fisiológicas para o crescimento da concha (Watson *et al.*, 2012; Mancuso *et al.*, 2019). Deste modo, o trabalho tem como objetivo desenvolver estudos morfogeométricos a partir dos dados obtidos da concha de *Anomalocardia flexuosa*, visando analisar e comparar a morfometria de populações ao longo da sua distribuição no litoral brasileiro.

2 HIPÓTESE

A variação morfogeométrica da concha de *Anomalocardia flexuosa* é influenciada por gradientes latitudinais, fatores ambientais e ecológicos distintos encontrados ao longo da costa brasileira.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Analisar e comparar as alterações na forma da concha de *Anomalocardia flexuosa* ao longo da costa brasileira a partir de amostras provenientes de diferentes populações naturais e material depositado em coleções científicas.

3.2 Objetivos Específicos

- Observar a variação morfogeométrica nos espécimes de *Anomalocardia flexuosa* e identificar quais são as principais estruturas relacionadas a essa variação;

- Avaliar as relações das medidas morfométricas da concha de *A. flexuosa* entre as populações e com o material depositado em coleções.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Amostragem e Trabalho de Laboratório

As amostragens de cada população foram compostas por cerca de 100 indivíduos adultos (comprimento igual ou maior que 13,80mm), de acordo com o tamanho médio no qual a espécie atinge a maturidade sexual (Barreira e Araújo, 2005; Oliveira, 2019), a fim de evitar ruído por efeito de crescimento alométrico. As amostras compreendem tanto populações ao longo da costa brasileira como também de localidades previamente identificadas e depositadas na Coleção Malacológica Professor Henry Ramos Matthews (CMPHRM/UFC), lotes 4792, 4793, 4797 e 4798 de Fortim/CE e lotes 4995, 4997, 4998 e 4999 de Rio Tinto/PB (Figura 1).

Figura 1 – Localização das amostras utilizadas no estudo.



Fonte: o autor (2024).

Após a seleção dos espécimes, estes tiveram os tecidos moles retirados e as conchas fotografadas com uma câmera Canon EOS Rebel T5 (lente EF-S 18-55mm f/3.5-5.6 IS STM) em tripé fixado a 30cm de altura e escala de 1cm para se considerar as variações no tamanho durante o posicionamento dos *landmarks*.

4.2 Análise Morfométrica

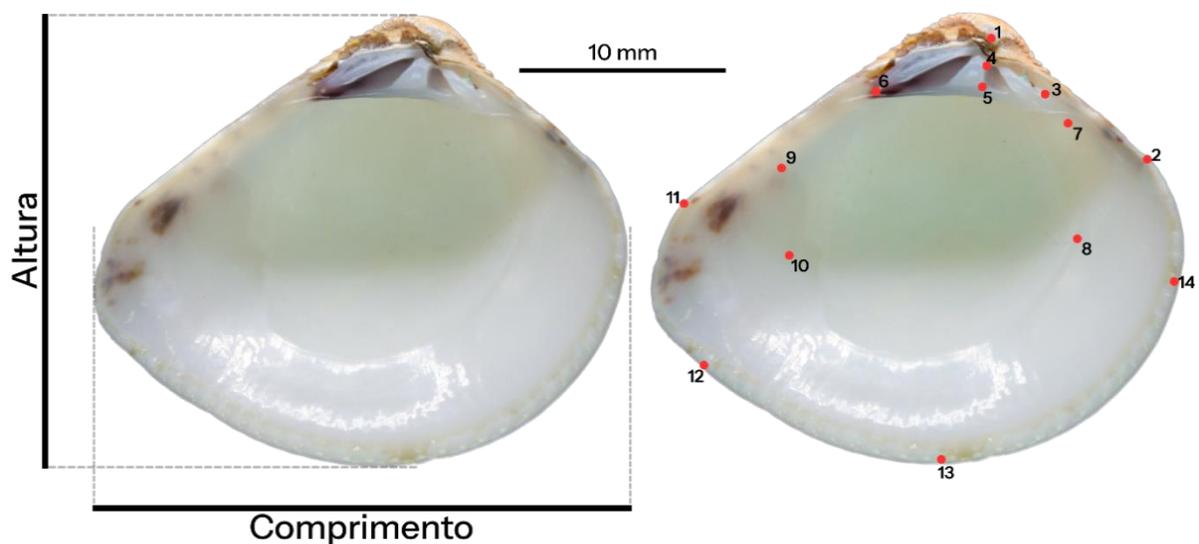
4.2.1 Morfometria Linear

Cada indivíduo foi submetido a análises morfométricas feitas a partir da medição com paquímetro digital de 0,01 mm do Comprimento (máxima distância entre a região anteroposterior) e Altura (distância entre umbo e borda da concha). A partir destes parâmetros foram investigadas a estrutura das classes de comprimento, sendo testadas a normalidade dos conjuntos de cada população e as diferenças entre os grupos. Os *outliers* foram identificados após o teste de Desvio Médio Absoluto (MAD) (Wilcox e Keselman, 2003) e removidos para as análises. Todas estas análises foram feitas em R (R Core Team, 2022) no *software* RStudio v.2024.04.0+735 “*Chocolate Cosmos*” (Posit Team, 2024). Os pacotes utilizados foram “*ggplot2*” (Wickham, 2016), “*readxl*” (Wickham, 2023) e “*sizeMat*” (Torrejón-Magallanes, 2016).

4.2.2 Análise Morfogeométrica

A análise de morfometria geométrica foi realizada no *software* MorphoJ v. 1.07a (Klingenberg, 2011). Após a aquisição das imagens, os conjuntos correspondentes de cada amostra são organizados no *software* utilitário tpsUtil v. 1.78 (Rohlf, 2017a) em arquivos próprios para a marcação dos *landmarks* no *software* tpsDig2 v. 2.31 (Rohlf, 2017b), em processo realizado por um único observador. Na face interna de cada valva esquerda de cada indivíduo foram marcados quatorze (14) *landmarks* de tipos I (pontos de limite entre tecidos ou entre o organismo e o meio) e II (pontos de máxima curvatura), seguindo o método proposto por Bookstein (1991). Dada a natureza inequívoca da concha de *A. flexuosa* (Denadai *et al.*, 2006; Roopnarine, Signorelli e Laumer, 2008), apenas as valvas esquerdas foram utilizadas. Os pontos foram definidos baseados em características conchiliológicas facilmente reconhecíveis e representam charneira, músculos adutores e as áreas do escudo e lúnula (Figura 2).

Figura 2 - Valva esquerda de *Anomalocardia flexuosa* mostrando os marcos anatômicos usados para a análise. *Landmarks*: 1 - Ponta do umbo; 2 - Junção ventral da lúnula com a margem comissural; 3 - Ponta ântero-ventral do dente cardinal anterior; 4 - Ponta dorsal do dente cardinal média; 5 - Extremidade ântero-ventral do dente cardinal médio; 6 - Ponta ventral da cavidade dentária cardinal médio; 7 - Ponta dorsal da cicatriz do músculo adutor/retrator anterior; 8 - Junção da ponta ventral da cicatriz do músculo adutor anterior e linha palial; 9 - Ponta dorsal da cicatriz do músculo retrator/adutor posterior; 10 - Junção da ponta ventral da cicatriz do músculo adutor posterior e linha palial; 11 - Extremidade posterior da concha; 12, 13, 14 - Extremidades da concha.



Fonte: o autor (2024).

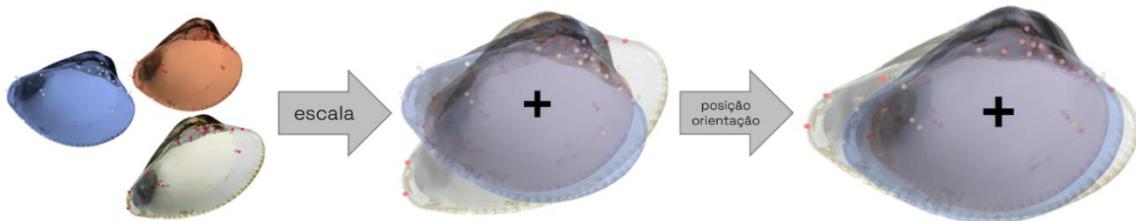
A matriz com as coordenadas cartesianas de cada ponto obtidas foram utilizadas como base de dados para a Análise Generalizada de Procrustes (*Generalized Procrustes Analysis*, GPA), que aplica um algoritmo de superposição de mínimos quadrados ao conjunto de coordenadas dos *landmarks* que representam a forma do objeto de estudo (Rohlf e Slice, 1990). Este processo faz com que cada conjunto de coordenadas se adeque a forma média de cada amostra tanto quanto possível. A forma resultante é a informação geométrica que persiste uma vez que são eliminadas diferenças de escala, posição e orientação no morfoespaço (Kendall, 1984). As variações restantes fornecem uma medida de diferença de forma entre cada objeto chamada de distância de *Procrustes*, que são a métrica do morfoespaço. Quanto menor a distância de *Procrustes* entre os pontos, mais semelhantes são as formas.

Dentro do MorphoJ foram calculados os centróides de cada indivíduo, que consiste no centro geométrico da forma. Este ponto é encontrado a partir da raiz quadrada da soma das distâncias quadradas entre todos os *landmarks* (Webster e Sheets, 2010; Klingenberg, 2016).

A translação, variação entre espécimes causada por diferenças na posição dos *landmarks* dentro de uma imagem, é então removida subtraindo-se as coordenadas de cada um dos *landmarks* no conjunto de dados relativos a cada indivíduo. Na próxima etapa, os efeitos de escala foram removidos dividindo-se as coordenadas de referência de cada espécime por seu tamanho, redimensionando todos os espécimes para um mesmo tamanho.

No entanto, métodos de medição comumente usados, como área total do corpo ou comprimento do corpo, podem se correlacionar com diferenças na forma (Bookstein, 1991; Dryden e Mardia, 2016), o que levou à adoção do tamanho do centróide independente da forma como a medida padrão de escala na morfometria geométrica (Zelditch, Swidersky e Sheets, 2012). Os efeitos de orientação são removidos calculando as coordenadas médias para cada *landmark*, em todos os espécimes. Isso é seguido por uma regressão complexa que move os marcos de cada espécime de modo a minimizar a distância ao quadrado somada dos pontos de referência desse indivíduo para sua posição média (Bookstein, 1991; Rohlf e Slice, 1990).

Figura 3 – Princípios da morfometria geométrica para a análise da concha de *Anomalocardia flexuosa*.



Fonte: Adaptado de Gerber e Savriama (2021).

4.3 Análise de Dados

4.3.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

A análise de componentes principais (*Principal Components Analysis*, PCA) é uma transformação linear dos dados relacionados a forma da concha que explicam as variações observadas, sendo realizada de modo a aumentar sua utilidade para análises estatísticas e visualização gráfica. Primeiro, os dados dos *landmarks* foram normalizados, redimensionando cada um em unidades de seu desvio padrão, resolvendo o problema da heterocedasticidade e garantindo que cada *landmark* tenha o mesmo grau de influência nas análises subsequentes. A segunda etapa da análise identifica a covariação dentro do conjunto de dados relativo à forma e reduz essas variáveis em várias dimensões estatisticamente independentes ordenadas a partir

da variação que apresentam. Como as mudanças nas posições dos *landmarks* raramente são independentes, essa consolidação da variação da forma pode ser altamente eficiente e condensar a maior parte da variação no conjunto de dados em um conjunto muito menor de variáveis (Neto, 1995; Rohlf, 1993).

A matriz de saída da PCA foi feita pelo ranqueamento das pontuações dos eixos de componentes principais (PCs). Essa transformação de dados é geometricamente equivalente e mais bem compreendida como a transformação do morfoespaço de cada *landmark* inicial em uma visão mais informativa. Essas variáveis de forma são as coordenadas dos pontos dentro do morfoespaço empírico que representam cada espécime e, devido à consolidação da covariação pelo PCA, esses morfoespaços podem ser aproximados usando um pequeno número de eixos, permitindo que a estrutura seja observada diretamente (Zelditch, Swidersky e Sheets, 2012; Dryden e Mardia, 2016).

4.3.2 Análise de Variáveis Canônicas (CVA)

As Análises de Variáveis Canônicas (*Canonical Variate Analysis*, CVA) determinam se os grupos pré-definidos *a priori* podem ser reconhecidos estatisticamente com base em dados multivariados, como coordenadas de *Procrustes*. A visualização desses resultados é gerada redimensionando as variáveis relacionadas à forma usando uma matriz derivada da matriz de covariação de cada amostra (Webster e Sheets, 2010). Cada valor é orientado seguindo as restrições criadas com o posicionamento ortogonal, para resumir a diferença máxima da variância entre os grupos e a mínima variância dentro de cada um destes. Diferentemente da PCA, assume que os indivíduos podem ser atribuídos a grupos predefinidos e depois testa o quanto os dados podem ser usados para corroborar com as atribuições. A análise visa ser utilizada para descrever ou caracterizar a separação dos grupos utilizando um subconjunto de variáveis, para analisar a contribuição das variáveis originais e avaliar o grau de separação entre amostras do estudo, com o intuito de se comparar com os resultados obtidos pela CVA (Hair *et al.*, 2009). Cada PCA ilustra as distâncias dos espécimes à configuração média da concha. Cada ponto no gráfico de dispersão representa uma forma única e os eixos representam vetores de mudança na forma. As elipses correspondem à probabilidade de 95% dos pontos serem distribuídos dentro de seus limites.

4.3.3 Procrustes ANOVA

A ANOVA de *Procrustes* utiliza as coordenadas de *Procrustes* alinhadas de todo o conjunto de dados para calcular as distâncias entre médias e entre indivíduos e médias amostrais (Klingenberg e McIntyre, 1998). Como as distâncias de *Procrustes* são baseadas em somas dos quadrados, é possível a utilização das coordenadas de Procrustes de forma análoga aos desvios de uma média de uma ANOVA convencional (Viscosi e Cardini, 2011). No MorphoJ, a ANOVA de *Procrustes* gera duas matrizes de dados, sendo um componente simétrico com as diferenças entre as médias individuais e um componente assimétrico com as diferenças entre indivíduos. O ANOVA foi utilizado para observar possíveis diferenças entre a forma e o centróide entre populações, com o centróide e a forma utilizados como variáveis independentes e os indivíduos como efeito aleatório.

5 RESULTADOS

Ao total, 1872 indivíduos de *Anomalocardia flexuosa* foram coletados em 12 estados, caracterizando a área de distribuição da espécie ao longo da costa do Brasil (Tabela 1). Após a análise de *outliers*, 1855 indivíduos foram incluídos nas análises.

Tabela 1 – Detalhes das áreas de estudo. N = número de indivíduos.

Estado	Cidade/Localidade	LatITUDE	Longitude	N
Pará	Bragança	00°48" S	46°39' W	37
Maranhão	Raposa	02°24' S	44°05' W	100
Piauí	Parnaíba	02°52' S	41°40' W	100
Ceará	Barroquinha	02°53' S	41°06' W	100
	Bitupitá	02°53' S	41°16' W	85
	Camocim	02°53' S	41°05' W	100
	Acaraú	02°48' S	40°13' W	100
	Fortaleza	03°49' S	38°24' W	100
	Fortim	04°25' S	37°46' W	99
	Icapuí	04°41' S	37°20' W	100
Rio Grande do Norte	Grossos	04° 56' S	37° 08' W	100
Paraíba	Rio Tinto	06°45' S	34°56' W	70
Pernambuco	Ilha de Itamaracá	07°48' S	34°51' W	64

	Sirinhaém	08°36'S	35°03'W	100
Sergipe	São Cristóvão	11°01'S	37°15'W	100
Bahia	Camaçari	12°42'S	38°07'W	100
	Salvador	12°57'S	38°30'W	100
Espírito Santo	Piúma	20°50'S	40°43' W	100
São Paulo	Ilhabela	23°49'S	45°22' W	100
Santa Catarina	Florianópolis	27°39' S	48°31' W	100

Fonte: o autor (2024).

5.1 Morfometria Linear

As análises da distribuição de tamanho do comprimento dos indivíduos em cada amostra seguiram a regra de Sturges e determinaram as classes de tamanho (Figura 4). O tamanho dos indivíduos variou de 13,81mm a 36,29mm ($\pm 4,14$) de comprimento e 9,47mm a 32,02mm ($\pm 3,40$) de altura, considerando todas as amostras, com médias de 21,37mm e 17,49mm, respectivamente. As maiores médias de comprimento são das amostras de São Cristóvão/SE, Bragança/PA, Itamaracá/PE, Florianópolis/SC e Sirinhaém/PE (Tabela 2).

Tabela 2 – Descritivos dos comprimentos de cada amostra do estudo.

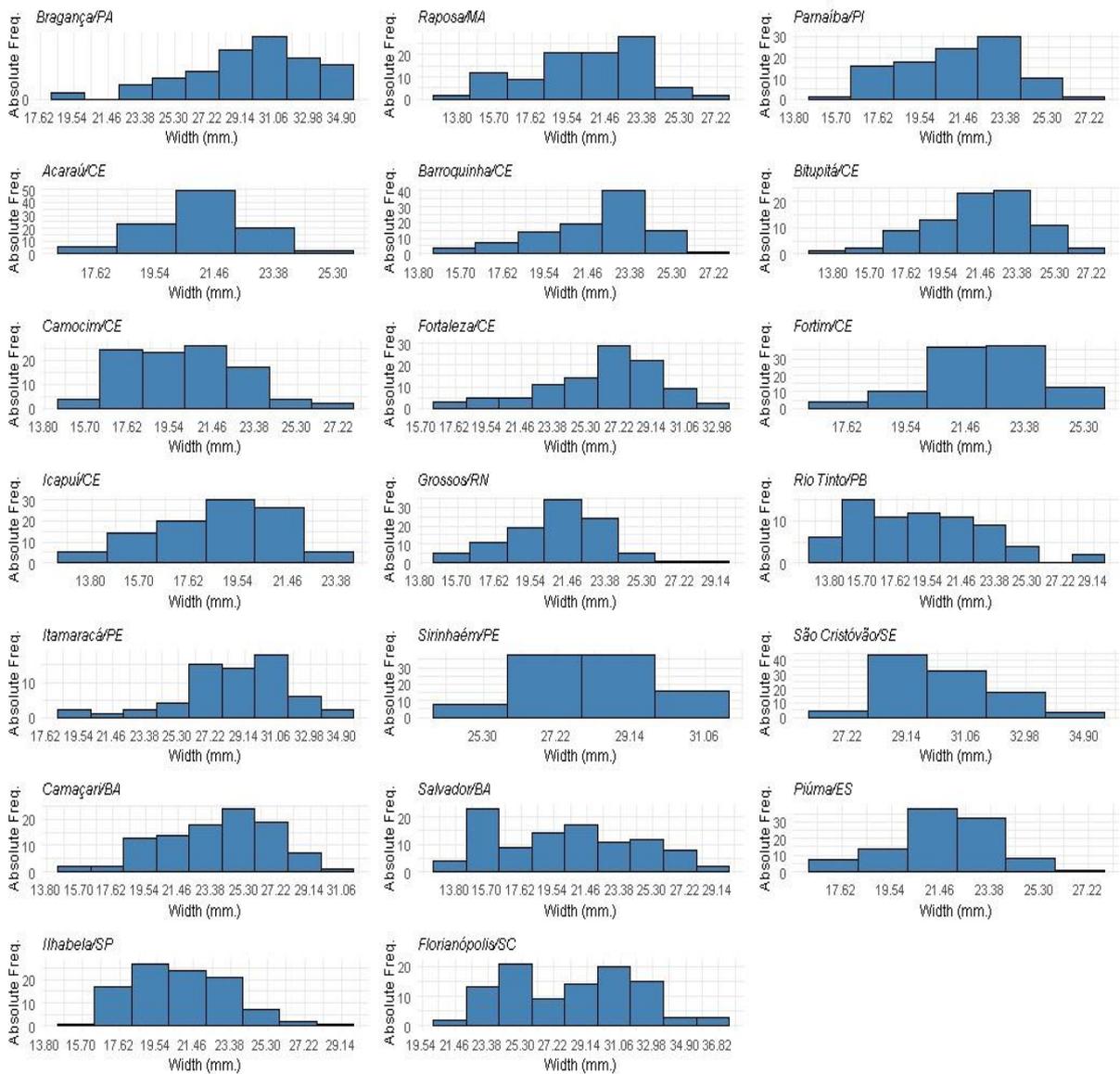
Local	Comprimento	Comprimento	Média (mm)	Desvio Padrão
	Mínimo (mm)	Máximo (mm)		
Bragança/PA	19,73	35,07	29,62	3,48
Raposa/MA	14,25	26,30	20,31	3,027
Parnaíba/PI	15,40	26,59	21,13	2,36
Bitupitá/CE	14,15	27,75	21,32	2,76
Camocim/CE	14,76	26,59	20,07	2,51
Fortim/CE	17,22	25,62	22,05	1,78
Icapuí/CE	13,81	23,01	18,67	2,29
Grossos/RN	15,20	29,02	20,90	2,47
Rio Tinto/PB	13,88	28,49	18,95	3,58
Itamaracá/PE	18,99	34,60	28,55	3,19
Sirinhaém/PE	24,20	31,39	28,06	1,67
São Cristóvão/SE	26,50	34,57	29,88	1,73
Camaçari/BA	15,39	30,80	24,11	3,18
Salvador/BA	13,96	28,42	20,29	4,08

Piúma/ES	16,49	26,61	21,69	1,91
Ihabela/SP	15,60	27,89	20,76	2,53
Florianópolis/SC	21,98	36,29	28,30	3,70

Fonte: o autor (2024).

A normalidade só foi observada nos dados das amostras de Icapuí/CE ($W = 0,9763$; $p = 0,065$), Grossos/RN ($W = 0,9756$; $p = 0,062$) e Rio Tinto/PB ($W = 0,9576$; $p = 0,085$). Em comparação geral, as variações de comprimento não foram significativas entre as amostras ($X^2 = 451,64$; $p < 0,01$).

Figura 4 – Histogramas de frequência de comprimento da concha de *Anomalocardia flexuosa* de cada população.



Fonte: o autor (2024).

5.2 Análise Morfogeométrica

A dispersão em torno da posição de alguns dos *landmarks* variou ao longo de cada amostra. Os *landmarks* números 11, 12, 13 e 14 apresentaram maior dispersão, enquanto os pontos 1 a 7, correspondentes ao umbo e dentição, tiveram menor variação (Figura 5).

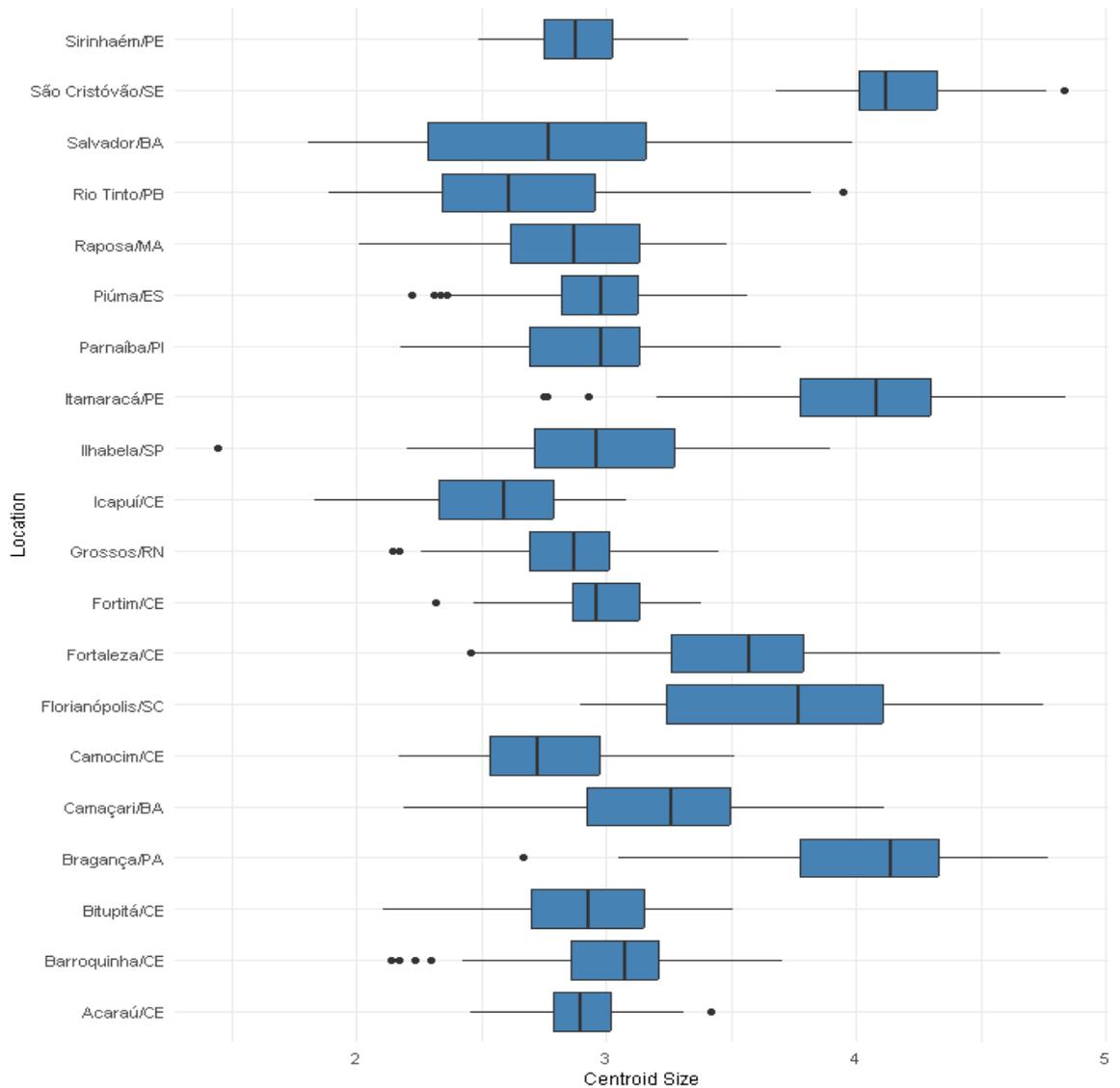
Figura 5 – Configuração de consenso dos *landmarks* (pontos azuis) com a variação em torno de cada ponto numerado. Os pontos pretos representam cada espécime. No fundo, uma concha representativa foi adicionada para ajudar a entender a forma e a posição da concha.



Fonte: o autor (2024).

Em termos de tamanho da forma, os espécimes de *A. flexuosa* de Bragança/PA foram maiores, seguidos por São Cristóvão/SE, Itamaracá/PE e Florianópolis/SC de acordo com a posição do centróide (Figura 6), que representa o tamanho global da forma de cada amostra. O oposto foi observado nas amostras de Icapuí/CE, Rio Tinto/PB e Camocim/CE.

Figura 6 – Variação do tamanho do centróide entre as amostras com médias e erro padrão de 95%.



Fonte: o autor (2024).

A ANOVA dos resíduos de *Procrustes* indicou que o formato da concha mudou significativamente com o tamanho do espécime ($F = 81,02$; $p < 0,0001$) e entre as populações ($F = 152,18$; $p < 0,0001$) (Tabela 3).

Tabela 3 – ANOVA dos resíduos de *Procrustes* para variação a forma e da posição do centróide para as populações de *Anomalocardia flexuosa*. SS = Somatória dos Quadrados; MS = Média das Somatórias dos Quadrados; df = Graus de Liberdade.

	Efeito	SS	MS	df	F	p
Forma	Individual	358,3404	18,86	19	152,18	<,0001
	Residual	227,9056	0,1239	1839		
Tamanho do Centróide	Individual	3,6199	0,0079	456	81,02	<0,0001
	Residual	4,3245	0,0000097	44136		

Fonte: o autor (2024).

A análise de regressão entre a posição do centróide e o escore da regressão mostrou que parte da variação pode ser explicada pela variação na forma ($p < 0,0001$) (Tabela 4). Contudo, somente esta análise não é capaz de explicar toda a diferença aqui vista, dados os valores residuais maiores que os preditivos e a sobreposição indistinguível entre amostras, levando a crer que outros fatores possam influenciar nas diferenças observadas. Comparativamente, as formas associadas ao menor e ao maior valor apresentam diferenças na borda e na região posterior (Figura 7).

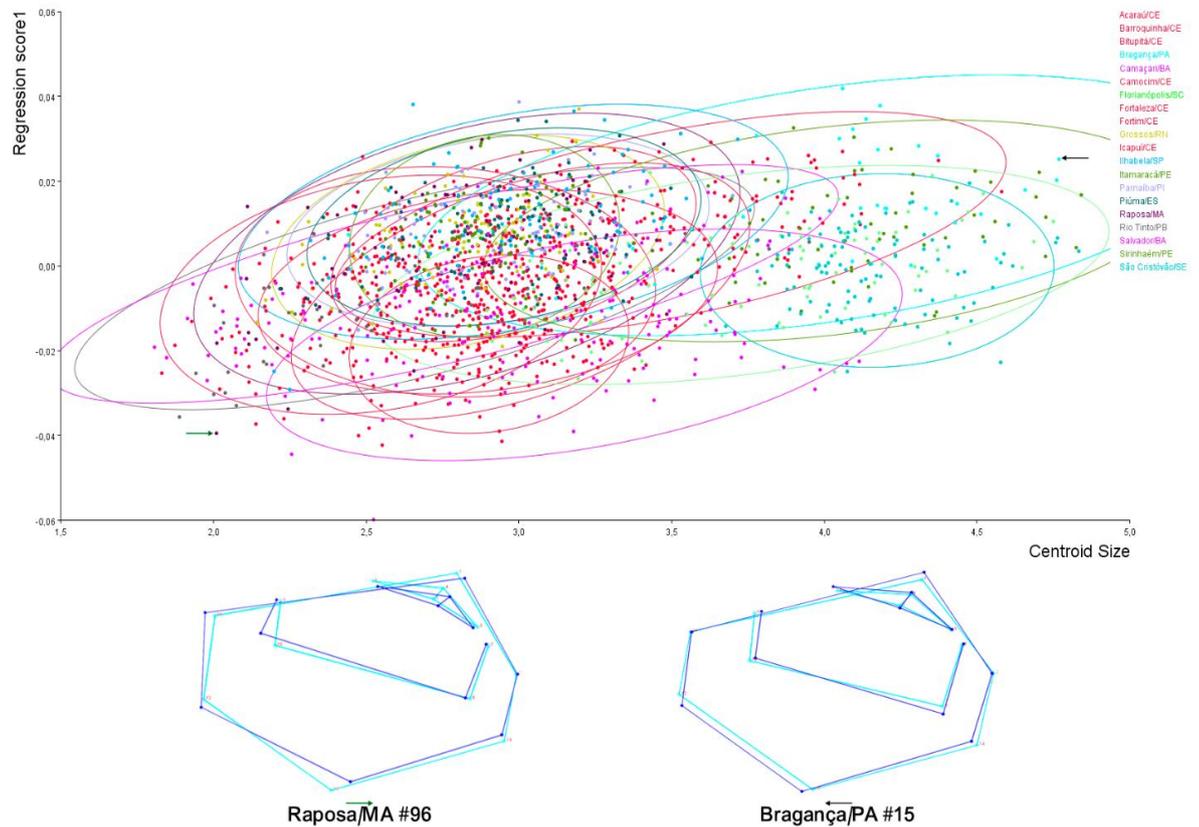
Tabela 4 – Resultados da análise de regressão entre a forma e o escore de regressão para as amostras de *Anomalocardia flexuosa*. SS = Somatória dos Quadrados.

Análise de Regressão Centroid Size x Procc Cord	
SS total	4,32457405
SS preditivo	0,03255839
SS residual	4,29201566
% previsto	0,7529%
p*	<,0001

*Teste de permutação contra a hipótese nula de independência do tamanho e da forma. Número de randomização = 10000.

Fonte: o autor (2024).

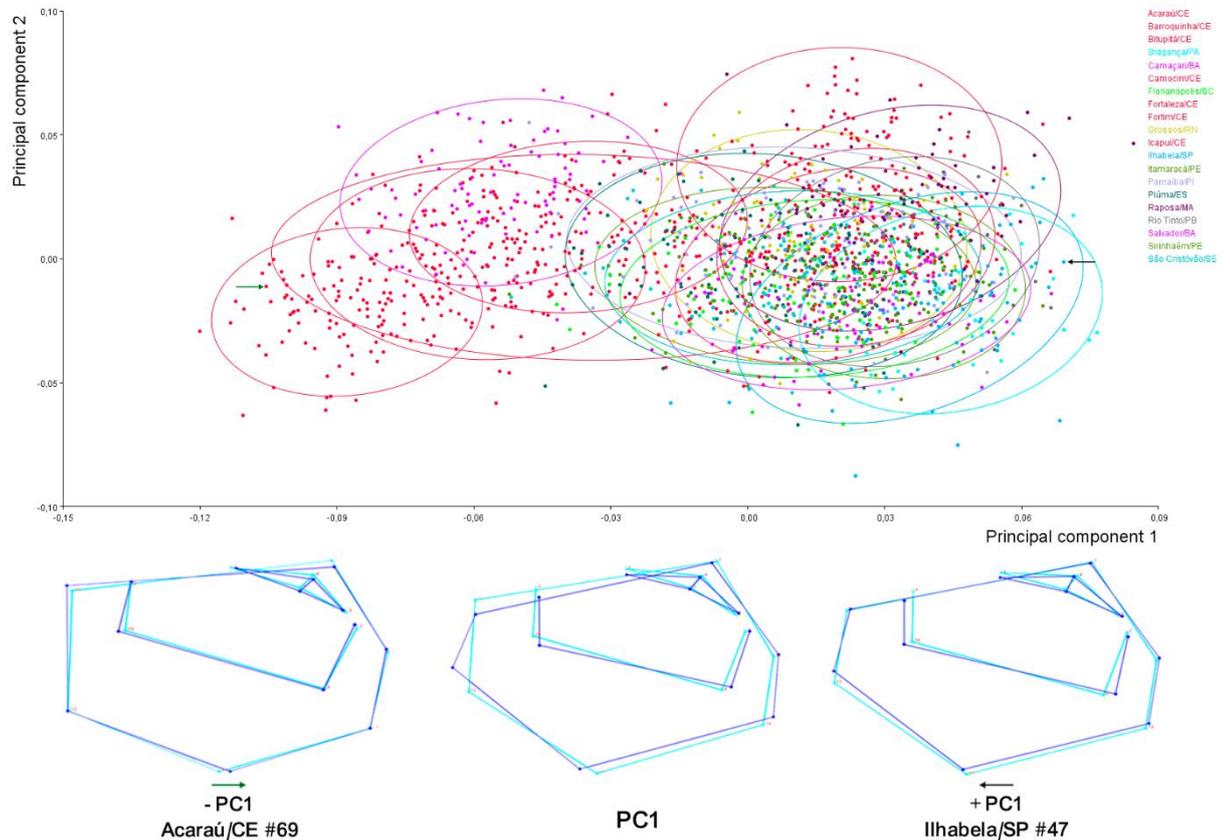
Figura 7 – Regressão entre o tamanho do centróide e o escore de regressão, com os *wireframes* do menor do maior indivíduo destacados e comparados a forma do consenso.



Fonte: o autor (2024).

Os 3 primeiros componentes principais (PCs) da PCA explicaram 60,78% da variância, com PC1, PC2 e PC3 representando 37,36%, 13,58% e 9,84% da variação e covariação na forma da concha, respectivamente. As amostragens de Ilhabela/SP e Acaraú/CE apresentaram os valores mais extremos no gráfico, considerando a primeira dimensão da análise (Figura 8). As principais alterações nesse eixo incluem uma alteração nos pontos 11 a 13, correspondentes a extremidade posterior e as bordas da concha, que migram assim como os pontos 9 e 10, refletindo um músculo adutor comparativamente mais amplo dorso-ventralmente.

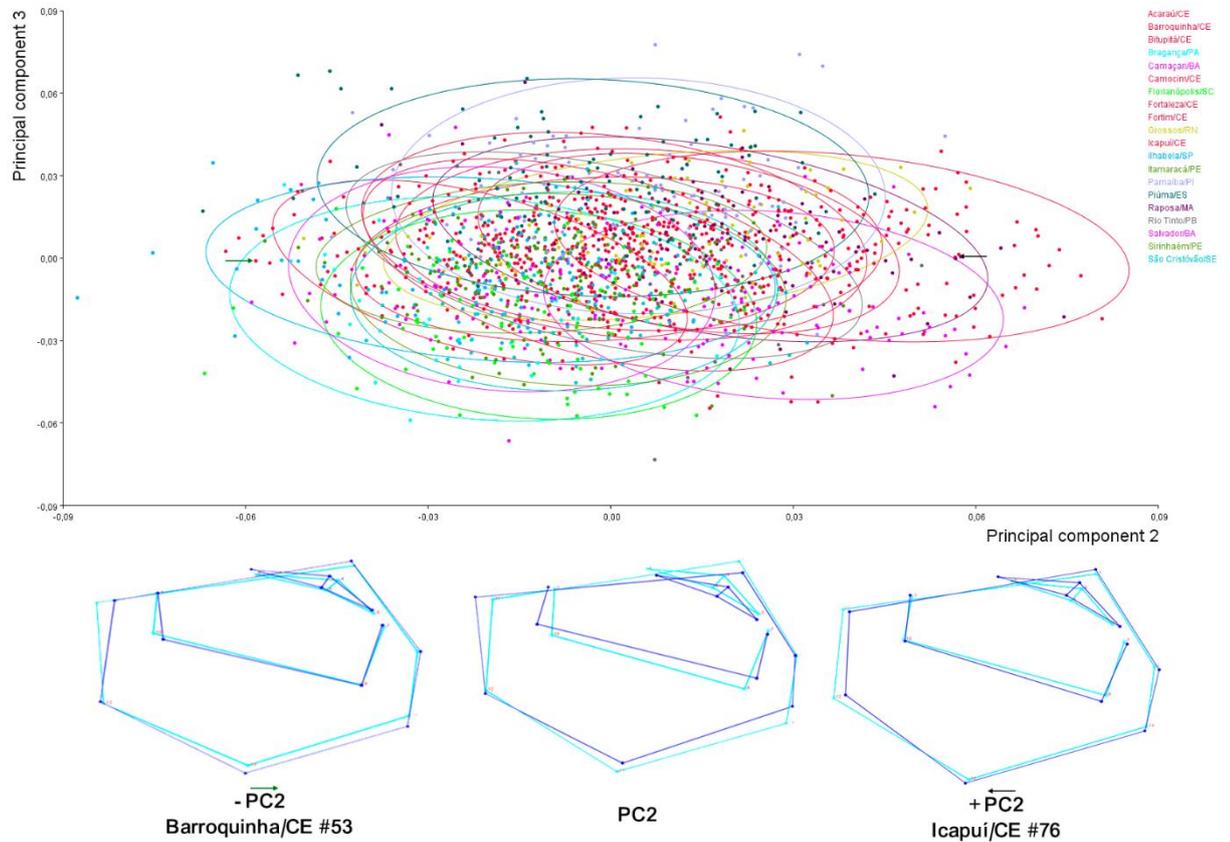
Figura 8 – Gráfico da Análise de Componentes Principais (PCA) de *A. flexuosa* separados por amostra e comparação da variação total do PC1 e dos indivíduos que mais variaram em cada extremo deste eixo. A forma consensual é representada em azul claro e a variação em azul escuro.



Fonte: o autor (2024).

Na segunda dimensão, as maiores variações foram de espécimes das amostras de Barroquinha/CE e Icapuí/CE (Figura 9). Notam-se alterações nos pontos relativos ao umbo (1), dentição (pontos 3 a 6) e bordas (pontos 11 a 14), migrando de forma que se perceba um achatamento na forma.

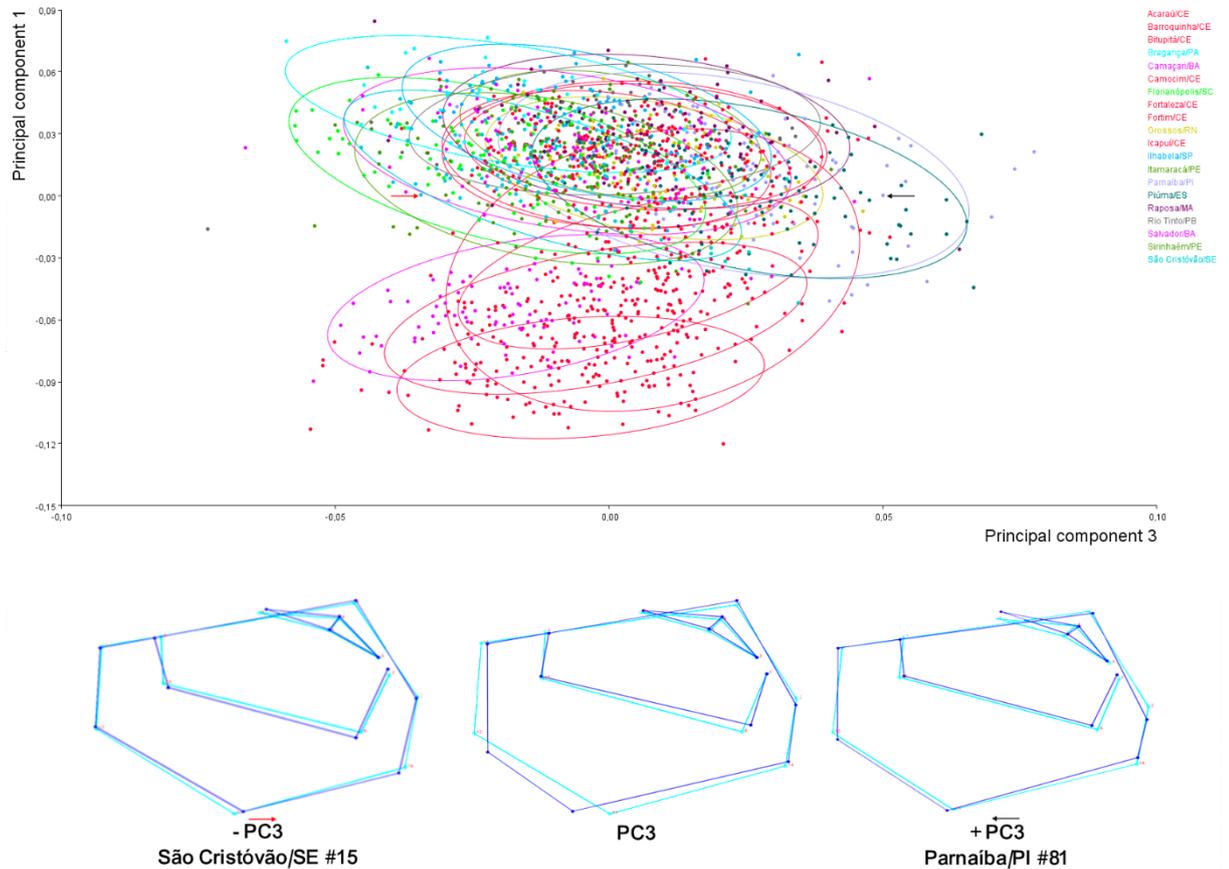
Figura 9 - Gráfico da Análise de Componentes Principais (PCA) de *A. flexuosa* separados por amostra e comparação da variação total do PC2 e dos indivíduos que mais variaram em cada extremo deste eixo. A forma consensual é representada em azul claro e a variação em azul escuro.



Fonte: o autor (2024).

No terceiro eixo (Figura 10) os extremos da variação compreenderam indivíduos das amostras de São Cristóvão/SE e Parnaíba/PI, respectivamente. As principais mudanças são nos pontos associados a margem comissural (2) e a região ventral (8, 13 e 14). Enquanto o ponto 2 migra mais ventralmente, o ponto 14 migra mais dorsalmente à medida que o eixo se torna positivo. Assim, os indivíduos mais a direita apresentam uma margem anterior arredondada de modo a formar um ângulo mais agudo. Já o ponto 8 migra mais ventralmente em direção aos valores negativos do eixo, tornando o músculo adutor anterior maior dorsoventralmente. Ainda nos valores negativos do eixo, o ponto 13 migra mais para a região posterior, deslocando a margem ventral mais para a região posterior, transformando a visão geral da forma da concha de um triângulo isósceles para um triângulo escaleno.

Figura 10 - Gráfico da Análise de Componentes Principais (PCA) de *A. flexuosa* separados por amostra e comparação da variação total do PC3 e dos indivíduos que mais variaram em cada extremo deste eixo. A forma consensual é representada em azul claro e a variação em azul escuro.



Fonte: o autor (2024).

Na Análise de Variáveis Canônicas (CVA) as coordenadas obtidas pela GPA resultaram em dois eixos principais, tendo o primeiro explicado 42,19% e o segundo 15,47% da variação observada. A análise dos eixos canônicos mostra a sobreposição das amostras (Figura 11), embora haja dissimilaridades que auxiliem na distinção dos grupos. O CV1 mostra a mudança já observada no PC1. A principal mudança observada neste eixo está relacionada a diferenças na região do limite da margem comissural e na região da margem ventral da concha. Quanto mais negativo o valor no CV1, mais triangular a concha se torna, devido os deslocamentos dos 2 (ventralmente), 12 e 13 (posterior e dorsalmente) e 14 (dorsalmente). Quanto mais positivo o valor no CV1, mais oval a concha, dados os deslocamentos dos pontos 1 e 2 (dorsalmente), 11 (anterior e dorsalmente) e 12 e 14 (ventralmente). No segundo eixo, embora a forma geral da valva seja mantida, é possível

Rio Tinto/PB como na amostra de Fortim/CE, tendo sido ambas recolhidas com uso de amostradores de PVC a 5cm de profundidade. Essas diferenças nos métodos amostrais, caso fossem a única fonte de dados, poderiam influenciar diretamente nos resultados do estudo, sendo inconclusivas quanto a questões como a variação do tamanho da população entre as amostras. Do ponto de vista da morfometria linear, a variação do número amostral pode ser um fator adicional a ser considerado.

O estudo da morfometria linear da concha de *A. flexuosa* mostrou que os espécimes da amostra de Bragança/PA apresentaram conchas maiores em média em relação aos demais, enquanto os espécimes de Rio Tinto/PB e Icapuí/CE apresentaram as conchas menores. A estrutura da população de bivalves é frequentemente afetada por eventos de alta mortalidade, podendo estar associadas à limitação alimentar; densidade; depleção de oxigênio e cargas orgânicas; temperatura e salinidade; parasitas e patógenos; hidrocarbonetos e outros poluentes persistentes; predação e mudanças nos sedimentos, sólidos suspensos e microplásticos (Dame e Kenneth, 2011; Corte *et al.*, 2017; Maia *et al.* 2016; 2017; Oliveira, 2019; Bruzaca *et al.*, 2022).

As medidas de *A. flexuosa* de Bitupitá/CE, Rio Tinto/PB e Itamaracá/PE foram muito semelhantes, embora diferentes métodos de amostragem tenham sido usados. No entanto, o mesmo não ocorre em Icapuí/CE e Grossos/RN, mesmo que o método de amostragem seja o mesmo dentro de cada área. Esse tipo de análise feita ao observar-se razões não condiz com a representação mais precisa desses dados biológicos e possuem propriedades matemáticas complexas (Atchley e Anderson, 1978; Lamb *et al.*, 2006). As medidas lineares podem permitir facilmente discriminação entre diferentes morfologias sem a tarefa de coletar muitos espécimes, digitalizar *landmarks* e realizar análises estatísticas multivariadas (Zelditch *et al.*, 2012). No entanto, a morfometria linear raramente é suficiente para quantificar informações de forma sobre um organismo (Krapivka *et al.*, 2007; Uba, 2019;) reforçando a necessidade de usar abordagens morfogeométricas.

6.2 Análise Morfogeométrica

Em comparação com os métodos morfométricos clássicos, os métodos morfogeométricos são mais eficazes para capturar informações sobre a forma de um organismo e têm maior poder de discriminação entre as espécies (Valladares, 2010; Zelditch *et al.*, 2012). Os métodos envolvidos na morfometria geométrica são não apenas aplicados com sucesso a diversos tipos

de objetos de estudos, mas também uma abordagem valiosa para analisar a variação de forma em outros bivalves (Krapivka *et al.*, 2007; Roopnarine *et al.*, 2008; Signorelli *et al.*, 2013; Moneva *et al.*, 2014; Uba, 2019). Além disso, apesar de sua relativa simplicidade, a metodologia de marcos anatômicos (*landmarks*) vem mostrando ser um método eficaz e preciso para estudar mudanças de forma em vários contextos (Gerber e Savriama, 2021). No presente estudo, a análise das mudanças da forma entre a posição do centróide, amostras e suas respectivas interações, utilizando a abordagem baseada no uso de *landmarks* encontrou diferenças significativas entre a forma da concha de *A. flexuosa* ao longo da distribuição da espécie na costa brasileira.

A variação da posição do centróide entre as amostras mostrou que os indivíduos de Bragança/PA foram maiores, que também foi confirmado pela morfometria linear. Da mesma forma, os menores indivíduos foram os da amostra de Icapuí/CE. Embora as diferenças de tamanho possam estar associadas a estrutura populacional, como citados anteriormente, também pode estar relacionada à pressão da pesca, comum para a espécie, uma vez que é frequentemente usada na alimentação humana (Pezzuto *et al.*, 2010; Silva-Cavalcanti *et al.*, 2011; Corte, 2015; Mourão *et al.*, 2021).

A variabilidade em torno de cada posição do *landmark* em relação à configuração de consenso proporcionou uma melhor compreensão da variação da forma analisando macroscopicamente. Neste estudo, os *landmarks* homólogos as posições da borda e região anterior (pontos 11, 12, 13 e 14) apresentaram maior dispersão quando comparados aos demais. Nas conchas de bivalves partes mais distantes do umbo desenvolvem-se mais do que as áreas ao redor da dentição (Stanley, 1970; Wada *et al.*, 2020). Em venerídeos é observado um grau de modularidade no desenvolvimento de suas conchas, mesmo com o crescimento cumulativo destas (Marin, Le Roy e Marie, 2012), que sugestionaria uma forte integração durante a vida do animal. Edie *et al.* (2022), observando táxons dentro de Veneridae identificou que a modularidade mais comum ao longo da vida das espécies do grupo indica uma separação precoce de linhagens celulares que dão origem à concha e aos órgãos internos, seguindo a dispersão observada nos *landmarks* do presente estudo.

Estes resultados obtidos mostram que ainda que haja uma sobreposição considerável da forma entre as amostras estudadas, diferenças significativas existem ao longo da sua distribuição. A expansão da extremidade posterior e o crescimento do músculo adutor foram os dois principais fatores que afetam a forma da concha, ambos resultando em conchas mais

longas do que o tradicional padrão trigonal observado para a espécie (Denadai *et al.*, 2006; Rios, 2009), de acordo com o PC1.

As diferenças de habitat em grupos amostrais na área central da distribuição para Florianópolis/SC e Bragança/PA, além do tipo de clima, é um gradiente latitudinal que se mostra em conchas maiores nos sentidos extremos da distribuição registrada no Brasil, crescendo tanto quanto comparado Nordeste-Norte (sentido Norte) e Nordeste-Sul (sentido Sul), apesar de ambos os grupos alcançarem tais tamanhos por vias distintas. A disponibilidade de recursos pode ter controle direto sobre o tamanho do corpo adulto. Estes mecanismos, todos eles aplicáveis a populações dentro de espécies, podem produzir correlações significativas entre tamanho corporal e/ou disponibilidade de recursos (ou algum *proxy*, como produtividade) entre populações da mesma espécie (Blackburn *et al.*, 1999). Contudo, o tamanho do corpo é influenciado por compensações ecológicas e evolutivas entre crescimento, disponibilidade de recursos, reprodução, predação, longevidade e uma série de outros fatores, além de eventos históricos (Berke *et al.*, 2012). A costa semiárida brasileira quando comparada com os ecossistemas influenciados pelo bioma amazônico ao norte e com os manguezais de áreas subtropicais do sul, não atende os mesmos parâmetros em quesitos de aporte sedimentar, nutrientes e balanço hídrico (Soares *et al.*, 2021), produzindo habitats menos propícios para o crescimento das conchas de *A. flexuosa*.

O crescimento desproporcional, citado anteriormente (Figura 7), pode explicar as relações inversas entre comprimento e altura para a PC2. Nesta dimensão da análise, a mudança tanto nos habitats e nos gradientes ambientais podem ser determinantes. Enquanto a amostra de Icapuí/CE foi coletada na área de uma pradaria de *Halodule wrightii*, disputas por espaços e alta salinidade (Burger *et al.*, 2019), a amostra de Raposa/MA, embora possua uma média de tamanhos muito próxima, ocupa um habitat de mangue com fortes características amazônicas, regido por um sistema de macromarés (Souza Filho, 2005) pouquíssimo explorado pela pressão da pesca. Assim, o tempo de desenvolvimento e as condições locais podem trazer mudanças como um encurtamento da altura e o oposto para o comprimento.

No PC3, os pontos ligados ao umbo e a dentição (1, 3 e 6) e a extremidade posterior (12 e 13) mostraram notavelmente maior variação quando comparados aos outros. Aqui, a modularidade no desenvolvimento da concha, aliada a mudanças no ambiente ou fatores genéticos que interferem nos estágios iniciais de crescimento podem ser os responsáveis pelas mudanças observadas nos extremos da dimensão. Estas estruturas podem representar as

adaptações a novos ambientes ou pressões de seleção e são consideradas conservativas (Shimamoto, 1986; Almeida, 2017). Segundo Seilacher e Gishlick (2014), o ângulo do umbo e a base ventral anterior da concha estão relacionados a atividades como resistência à tração e compressão, assim como estabilidade mecânica e hidrodinâmica. A capacidade da concha de aderir ao substrato e suportar condições desafiadoras, como ondas e correntes, pode ser afetada por mudanças nessas características (Stanley e Trueman, 1988; Gosling, 2008). Além disso, a posição dos sifões e a eficácia da alimentação do bivalve podem ser afetadas pelo ângulo do umbo (Sartori *et al.*, 2008). Portanto, as alterações encontradas na análise PCA podem apontar para diferentes estratégias adaptativas entre as populações de *A. flexuosa* em várias regiões.

Organismos em sistemas naturais enfrentam vários desafios ecológicos e frequentemente exibem mudanças fenotípicas em resposta (Langerhans, Chapman e Dewitt, 2007; Costa *et al.*, 2008). Segundo Monteiro *et al.* (2000) os fenótipos ao se considerar a forma de estruturas, órgãos e organismos surgem da interface e combinação complexa entre regras morfogenéticas, condições ecológicas e forças evolutivas determinísticas e estocásticas. Portanto, o fenótipo dos organismos é significativamente influenciado pela cooperação entre o ambiente e o genótipo. Durante a história de vida dos indivíduos, contudo, a concha pode acumular informações ambientais em si. Estudos comparativos demonstraram que as espécies de bivalves apresentam diversas características morfológicas distintas que lhes permitem adaptar-se ao modo de vida epifaunal, evitar a predação e o parasitismo, manter o fluxo de corrente adequado em condições de aglomeração e adaptar-se à exposição às ondas, ao tipo de substrato, à salinidade e à disponibilidade de carbonato de cálcio. (Stanley, 1988; Schluter, 2000).

O gradiente de forma apresentado pelos extremos da CVA na primeira dimensão dentro de uma curta variação latitudinal entre as amostras de Bragança/PA e Acaraú/CE pode ser explicado por processos subjacentes a essa variação latitudinal, como disponibilidade de energia, rastreamento de recursos e resistência a adversidades nos ecossistemas em que estão inseridos. (Cushman, Lawton e Manly, 1993). Ao ser representada geograficamente, as diferenças regionais entre os extremos da distribuição no CV1 mostram a mudança da área de influência da bacia amazônica em Bragança/PA, abundante em recursos (de Lacerda, Borges e Ferreira, 2019), para a costa semiárida brasileira em Acaraú/CE, que historicamente sofre de um déficit de recursos. A costa semiárida brasileira não atende aos mesmos parâmetros em quesitos de aporte sedimentar, nutrientes e balanço hídrico (Soares *et al.*, 2021), produzindo

habitats menos propícios para o desenvolvimento pleno das conchas de *A. flexuosa*. Em zonas tropicais, a hipótese da disponibilidade de energia apresenta resultados significativos em bivalves marinhos de zonas rasas (Roy e Martien, 2001).

Diferentemente do CV1, o CV2 parece estar associado a uma escala latitudinal maior representada entre os indivíduos de Raposa/MA e Florianópolis/SC. As barreiras ambientais e os diferentes tipos de ambientes ao longo dos quase 3 mil km que separam essas amostras representam uma parte importante no cerne da mudança ao longo da variação latitudinal. Ao contrário das tendências de variação em larga escala, os processos que influenciam essas mudanças em níveis regionais ou locais são diferentes, como as variações de salinidade, que têm efeitos em organismos aquáticos e podem influenciar a distribuição geográfica de bivalves marinhos. Shurova (2001) demonstrou que variações em fatores como a salinidade podem modificar tamanho, idade, sexo e estruturas fenotípicas de populações de bivalves, o que pode ser considerado uma estratégia adaptativa. Assim, fatores fisiológicos e morfogeométricos poderiam estar associados ao gradiente latitudinal encontrado no CV2.

7 CONCLUSÕES

Anomalocardia flexuosa é uma espécie de bivalve importante, não apenas economicamente como também ecologicamente. Sua ampla distribuição e consideráveis semelhanças morfológicas reforçam a conexão entre populações, que respondem do ponto de vista morfológico a dinâmicas ambientais locais sem grandes alterações ao longo de uma notável amplitude latitudinal.

A utilização da morfometria geométrica mostrou-se válida resultados precisos para discriminar populações ao longo da costa brasileira de forma rápida e simples, fornecendo informações valiosas que podem ser úteis em diversos contextos, como ecologia, evolução e exploração comercial. Os achados aqui compartilhados ajudam a sustentar o uso da análise morfogeométrica baseada em landmarks, permitindo uma visão detalhada das variações da forma da concha de *A. flexuosa* através da Análise Generalizada de Procrustes (GPA), que mostrou diferenças na forma significativas ao longo da distribuição da espécie na costa brasileira. Através da visualização da Análise de Componentes Principais (PCA), seus componentes principais (PCs), da configuração de consenso e da visualização das diferenças de landmarks entre as amostras, foi possível compreender em quais aspectos concretos ocorreram mudanças no formato da concha.

Em suma, os métodos morfogeométricos utilizados neste trabalho permitiram com sucesso o estudo detalhado da variação da forma da concha de *Anomalocardia flexuosa* ao longo da costa brasileira e permitiram observar suas variações por toda ela. Por fim, os métodos aplicados neste estudo podem ser estendidos a outras populações de invertebrados marinhos, sobretudo bivalves, sendo uma abordagem relativamente fácil, precisa e de baixo custo, sendo uma alternativa confiável para esse tipo de análise.

8 REFERÊNCIAS

- ADAMS, Dean C.; ROHLF, F. James; SLICE, Dennis E. Geometric morphometrics: ten years of progress following the ‘revolution’. **Italian journal of zoology**, v. 71, n. 1, p. 5-16, 2004.
- ADAMS, Dean C.; OTÁROLA-CASTILLO, Erik. geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods in ecology and evolution*, v. 4, n. 4, p. 393-399, 2013.
- AGUIRRE, Marina L. et al. Reading shell shape: implications for palaeoenvironmental reconstructions. A case study for bivalves from the marine Quaternary of Argentina (south-western Atlantic). **Historical Biology**, v. 28, n. 6, p. 753-773, 2016.
- ANDERSON, Laurie C.; ROOPNARINE, Peter D. Role of constraint and selection in the morphologic evolution of *Caryocorbula* (Mollusca: Corbulidae) from the Caribbean Neogene. **Palaeontologia Electronica**, v. 8, n. 2, p. 1-18, 2005.
- ATCHLEY, William R.; ANDERSON, Dwane. Ratios and the statistical analysis of biological data. **Systematic Zoology**, v. 27, n. 1, p. 71-78, 1978.
- BABAEI, Mohsen Mekhanik et al. Morphometric relationship of weight and size of clam *Amiantis umbonella* L., 1818 (Bivalvia: Veneridae) in the eastern coasts of Bandar Abbas, Persian Gulf. **Advances in Environmental Biology**, p. 376-383, 2010.
- BARBIER, Edward B. et al. The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecological monographs**, v. 81, n. 2, p. 169-193, 2011.
- BARREIRA, C. A. R. e ARAÚJO, M.L.R. Ciclo reprodutivo de *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) na praia do Canto da Barra, Fortim, Ceará, Brasil. *Boletim do Instituto de Pesca*, vol. 31, no. 1, 9-20, 2005.
- BARROS, K. V. S.; ROCHA-BARREIRA, C. A.; MAGALHÃES, K. M. Seagrass meadows on the northeast coast of Brazil: habitat influence on the spatial and seasonal variations.

Aquatic ecosystems: influences, interactions and impact on the environment. Nova Science Publishers, New Jersey, p. 1-29, 2016.

BAYER, M. Sol et al. Form changes in *Amiantis purpurata* (Bivalvia, Veneridae) shells over the past 100,000 years in North Patagonia (Argentina). **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 96, n. 6, p. 1243-1250, 2016.

BEAUCHAMP, Kate C. et al. Detection of hybrid *Pyganodon grandis* and *P. lacustris* (Bivalvia: Unionidae) using F-and M-type mitochondrial DNA sequences and geometric morphometrics. *Journal of Molluscan Studies*, v. 86, n. 3, p. 233-239, 2020.

BELÉM, T.; MOURA, R. S. T.; HENRY-SILVA, G. G. Distribuição e densidade do bivalve *Anomalocardia flexuosa* em praias do Rio Grande do Norte durante um período de pluviosidade atípica. *Biotemas*, v.26, n.1, 109-122, 2013.

BELOTO, Natalia et al. Blue carbon stock heterogeneity in Brazilian mangrove forests: A systematic review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 197, p. 115694, 2023.

BEYETT, Tyler W. et al. Use of morphometric analyses and DNA barcoding to distinguish *Truncilla donaciformis* and *Truncilla truncata* (Bivalvia: Unionidae). *Freshwater Mollusk Biology and Conservation*, v. 23, n. 2, p. 99-108, 2020.

BERKE, Sarah K. et al. Beyond Bergmann's rule: size–latitude relationships in marine Bivalvia world-wide. **Global Ecology and Biogeography**, v. 22, n. 2, p. 173-183, 2013.

BLACKBURN, Tim M.; GASTON, Kevin J.; LODER, Natasha. Geographic gradients in body size: a clarification of Bergmann's rule. **Diversity and distributions**, v. 5, n. 4, p. 165-174, 1999.

BOEHS, G. Ecologia populacional, reprodução e contribuição em biomassa de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Bivalvia: Veneridae) na Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil. 2000. 201 f. Tese (Doutorado em Zoologia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

BOEHS, Guisla; ABSHER, Theresinha Monteiro; CRUZ-KALED, Andrea C. da. Population ecology of *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791)(Bivalvia, Veneridae) on Paranaguá bay, Paraná, Brazil. **Bol. Inst. Pesca (Impr.)**, p. 259-270, 2008.

BONAMOUR, Suzanne et al. Phenotypic plasticity in response to climate change: the importance of cue variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 374, n. 1768, p. 20180178, 2019.

BOOKSTEIN, Fred L. Thin-plate splines and the atlas problem for biomedical images. In: *Information Processing in Medical Imaging: 12th International Conference, IPMI'91* Wye, UK, July 7–12, 1991 Proceedings 12. Springer Berlin Heidelberg, 1991. p. 326-342.

- BOOKSTEIN, F. L. *Advances in morphometrics*. Springer, Boston, MA, 1996
- BURGER, Joanna et al. Metal and metalloid levels in blood of semipalmated sandpipers (*Calidris pusilla*) from Brazil, Suriname, and Delaware Bay: Sentinels of exposure to themselves, their prey, and predators that eat them. **Environmental research**, v. 173, p. 77-86, 2019.
- BRUSCA, R. C.; GIRIBET, G.; MOORE, W. *Invertebrates*. 2022. Sinauer Series. ISBN 9780197554418. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=3Ga7zgEACAAJ>. Oxford University Press.
- BRUZACA, David NA et al. Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 179, p. 113659, 2022.
- CAILL-MILLY, Nathalie et al. Morphological trends of four Manila clam populations (*Venerupis philippinarum*) on the French Atlantic coast: identified spatial patterns and their relationship to environmental variability. *Journal of Shellfish Research*, v. 33, n. 2, p. 355-372, 2014.
- CARNEIRO, Alessandra Paula. *Respostas do bivalve Anomalocardia flexuosa à eventos de temperaturas extremas: comparação sazonal e populacional*. 2020.
- CHAUHAN, S. et al. STOCK DISCRIMINATION OF PAPHIA MALABARICA FROM SOUTH KONKAN COAST, MAHARASHTRA, INDIA BY GEOMETRIC MORPHOMETRIC SHAPE AND SIZE ANALYSIS. **Journal of Experimental Zoology India**, v. 27, n. 1, 2024.
- CHAUVAUD, L. et al. Variation in Size and Growth of the Great Scallop *Pecten maximus* along a Latitudinal Gradient. *PLoS One* 7, e37717 (2012).
- CHECON, Helio H. et al. Macro-and Meiofaunal Communities in Brazilian Mangroves and Salt Marshes. In: **Brazilian Mangroves and Salt Marshes**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 155-178.
- CHRISTODOULOU, Maria D.; CLARK, Jonathan Y.; CULHAM, Alastair. The Cinderella discipline: morphometrics and their use in botanical classification. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 194, n. 4, p. 385-396, 2020.
- COLLINS, Katie S.; EDIE, Stewart M.; JABLONSKI, David. Hinge and ecomorphology of *Legumen Conrad, 1858 (Bivalvia, Veneridae)*, and the contraction of venerid morphospace following the end-Cretaceous extinction. **Journal of Paleontology**, v. 94, n. 3, p. 489-497, 2020.

- CORTE, Guilherme Nascimento. Reproductive cycle and parasitism in the clam *Anomalocardia brasiliana* (Bivalvia: Veneridae). **Invertebrate Reproduction & Development**, v. 59, n. 2, p. 66-80, 2015.
- CORTE, Guilherme Nascimento et al. Population dynamics of the harvested clam *Anomalocardia brasiliana* (Bivalvia: Veneridae) in Cidade Beach, south-east Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 95, n. 6, p. 1183-1191, 2015.
- CORTE, Guilherme Nascimento; COLEMAN, Ross A.; AMARAL, A. Cecília Z. Environmental influence on population dynamics of the bivalve *Anomalocardia brasiliana*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 187, p. 241-248, 2017.
- COSTA, Corrado et al. Shape analysis of different populations of clams in relation to their geographical structure. **Journal of Zoology**, v. 276, n. 1, p. 71-80, 2008.
- COOLEY, Sarah et al. Oceans and coastal ecosystems and their services. In: IPCC AR6 WGII. Cambridge University Press, 2022.
- CREED, J. C.; AGUIAR, M. V. P.; SOARES, A. C.; MARQUES, L. V. 2018. Seagrasses of Southeast Brazil.
- CUSHMAN, J. Hall; LAWTON, John H.; MANLY, Bryan FJ. Latitudinal patterns in European ant assemblages: variation in species richness and body size. **Oecologia**, v. 95, p. 30-37, 1993.
- DĄBROWSKI, Jarosław et al. Morphometrics, Growth and Condition of the Invasive Bivalve *Rangia cuneata* during Colonisation of the Oder Estuary (North-Western Poland). **Water**, v. 15, n. 19, p. 3331, 2023.
- DA CUNHA, Suelen Maria Beeck et al. Selection of fish resources for consumption and sale by artisanal fishers and implications to fisheries sustainability. **Fisheries Research**, v. 261, p. 106615, 2023.
- DA SILVA MOURÃO, José et al. The harvesting process and fisheries production of the venus clam *Anomalocardia flexuosa* in a Brazilian extractive reserve, with implications for gender sensitive management. *Ocean & Coastal Management*, v. 213, p. 105878, 2021.
- DE ALMEIDA ROCHA-BARREIRA, Cristina; ROSA-FILHO, José Souto. Biological Interactions. In: **Brazilian Sandy Beaches**. Cham: Springer International Publishing, 2023. p. 199-222.
- DE LACERDA, Luiz Drude; BORGES, Rebecca; FERREIRA, Alexander Cesar. Neotropical mangroves: Conservation and sustainable use in a scenario of global climate change. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, v. 29, n. 8, p. 1347-1364, 2019.

- DENADAI, M.R. et.al. Veneridae (Mollusca, Bivalvia) da costa norte do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrópica*, v. 6, n.3, 2006.
- DOS SANTOS, Weverton John Pinheiro et al. Variação morfométrica de *Tivela mactroides* (Bivalvia, Veneridae) no litoral Norte-Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 21, n. 1, p. 1-11, 2020.
- DRYDEN, Ian L.; MARDIA, Kanti V. *Statistical shape analysis: with applications in R*. John Wiley & Sons, 2016.
- EDIE, Stewart M. et al. Evolutionary modularity, integration and disparity in an accretionary skeleton: analysis of venerid Bivalvia. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 289, n. 1967, p. 20211199, 2022.
- ESTRADA, T.D. (2004) Variação morfológica de conchas de *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767) em praias de diferentes condições ambientais no sudeste do Brasil. Msc thesis, University of Campinas, Campinas, São Paulo, Brazil
- FERREIRA GONÇALVES, Tainara Ravaglia et al. Spatiotemporal analysis of the genetic and morphological variation of *Iphigenia brasiliensis* (Mollusca: Bivalvia) from the southwest tropical Atlantic. *Latin american journal of aquatic research*, v. 51, n. 1, p. 47-66, 2023.
- FONTELES-FILHO, A. A. *Oceanografia, biologia e dinâmica populacional de recursos pesqueiros*. Fortaleza: Expressão Gráfica Editora, 2011
- FUNK, Andrea; RECKENDORFER, Walter. Environmental heterogeneity and morphological variability in *Pisidium subtruncatum* (Sphaeriidae, Bivalvia). *International Review of Hydrobiology*, v. 93, n. 2, p. 188-199, 2008.
- GAGNON, Jean-Marc et al. Morphological and genetic variation in North Atlantic giant file clams, *Acesta* spp.(Bivalvia: Limidae), with description of a new cryptic species in the northwest Atlantic. *Zootaxa*, v. 4007, n. 2, p. 151–180-151–180, 2015.
- GERBER, Sylvain; SAVRIAMA, Yoland. *Symmetry of Shapes in Biology: from D'Arcy Thompson to Morphometrics*. *Systematics and the Exploration of Life*, p. 1-16, 2021.
- GETINO MAMET, Leandro Nicolás et al. Shell shape as an indicator of phenotypic stocks of Tehuelche scallop in Northern Patagonia, Argentina. *Marine Biology Research*, v. 17, n. 9-10, p. 892-903, 2021.
- GONÇALVES, Elenice Malvina; DA CUNHA LANA, Paulo. Padrões de distribuição de bivalvia e gastropoda na plataforma continental da costa sudeste do Brasil (24 S-27 S). *Revista Nerítica*, v. 6, n. 1-2, p. 73-92, 1991.
- GOSLING, Elizabeth. *Bivalve molluscs: biology, ecology and culture*. John Wiley & Sons, 2004.

- GROTTA, M. & J.E. LUNETTA, 1980. Ciclo sexual de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) do litoral do Estado da Paraíba. *Rev. Nordest. Biol.* 3(1): 5-55.
- HAIR, Joseph F. et al. Black (1998), *Multivariate data analysis*. 1998.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2009). *Multivariate data analysis* (7th ed.). Prentice-Hall.
- HELMHOLZ, Heike et al. Seasonal and annual variations in physiological and biochemical responses from transplanted marine bioindicator species *Mytilus* spp. during a long-term field exposure experiment. *Science of the Total Environment*, v. 565, p. 626-636, 2016.
- INOUE, Kentaro et al. Molecular phylogenetics and morphological variation reveal recent speciation in freshwater mussels of the genera *Arcidens* and *Arkansia* (Bivalvia: Unionidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 112, n. 3, p. 535-545, 2014.
- ISLAMI, Muhammad Masrur; DODY, Dietrich Geoffrey Bengen and Safar. Spatial variation in population characteristics of tumid venus clam *Gafrarium tumidum* Röding, 1798 (Bivalvia: Veneridae) in Ambon Bay, Maluku. **Mar Res Indonesia**, v. 43, n. 2, p. 63-70, 2018.
- JONES, L. et al. Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. **Land use policy**, v. 52, p. 151-162, 2016.
- KEOGH, Sean M.; SIMONS, Andrew M. Molecules and morphology reveal 'new' widespread North American freshwater mussel species (Bivalvia: Unionidae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 138, p. 182-192, 2019.
- KLINGENBERG, C. P.; MCINTYRE, G. S. Geometric morphometrics of developmental instability: analyzing patterns of fluctuating asymmetry with Procrustes methods. *Evolution*, v. 52, n. 5, p. 1363-1375, 1998.
- KLINGENBERG, C. P. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular ecology resources*, v. 11, n. 2, p. 353-357, 2010.
- KLINGENBERG, Christian Peter. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics*, v. 11, n. 9, p. 623-635, 2010.
- KLINGENBERG, Christian Peter. Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Development genes and evolution*, v. 226, n. 3, p. 113-137, 2016.
- KOSNIK, Matthew A. et al. Quantifying molluscan body size in evolutionary and ecological analyses: maximizing the return on data-collection efforts. *Palaos*, v. 21, n. 6, p. 588-597, 2006.

- KOTRSCHAL, K. M.; MOTTA, P. J. Correlative, experimental, and comparative evolutionary approaches in ecomorphology. **Netherlands Journal of Zoology**, v. 42, n. 2-3, p. 400-415, 1991.
- KRAPIVKA, Sebastián et al. Shell-shape variation along the latitudinal range of the Chilean blue mussel *Mytilus chilensis* (Hupe 1854). *Aquaculture Research*, v. 38, n. 16, p. 1770-1777, 2007.
- KUNSOOK, C.; เภญจวรรณ, น.; กรินทร์ัญญุกิจ, ว. Species Diversity and Abundance of Marine Molluscs in Mangrove Forest and Seagrass Bed at Kung Krabaen Bay, Chanthaburi Province: Species Diversity and Abundance of Marine Molluscs in Mangrove Forest and Seagrass Bed at Kung Krabaen Bay, Chanthaburi Province. *วารสารเกษตรรำไพ*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 21–35, 2023. Disponível em: https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/kaset_rbruj/article/view/470. Acesso em: 20 jun. 2023.
- LAMB, Eric G.; CAHILL, James F.; DALE, Mark RT. A nonlinear regression approach to test for size-dependence of competitive ability. **Ecology**, v. 87, n. 6, p. 1452-1457, 2006.
- LANGERHANS, R. B.; CHAPMAN, L. J.; DEWITT, T. J. Complex phenotype–environment associations revealed in an East African cyprinid. **Journal of Evolutionary Biology**, v. 20, n. 3, p. 1171-1181, 2007.
- LIMA, Michella de Albuquerque et al. Osmorregulação em moluscos: o caso do bivalve estuarino tropical *Anomalocardia brasiliana* (Mollusca: Bivalvia). 2009.
- LIU, Xiaoxia et al. The impact of elevated temperature on the macro-nutrients of commercially important marine bivalves: the implication of ocean warming. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-8, 2024.
- LÓPEZ-ROCHA, Jorge A. et al. Morphometric relationship, growth parameters, and natural mortality as estimated primary inputs for fishery management in newfishing areas for bivalve molluscs (Bivalvia: Veneridae). **Journal of Shellfish Research**, v. 37, n. 3, p. 591-600, 2018.
- MAIA, R. C. *Manguezais do Ceará*. Recife, Imprima, 55p. 2016.
- MAIA. A. M. L. R.; MEDEIROS, E. L.; SILVA, G. H. G. Efeito da salinidade sobre a sobrevivência do bivalve *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767). *Scientia Agraria Paranaensis*, v.16, n.4, 495-499, 2017
- MANCUSO, Arianna et al. Environmental influence on calcification of the bivalve *Chamelea gallina* along a latitudinal gradient in the Adriatic Sea. *Scientific Reports*, v. 9, n. 1, p. 11198, 2019.

- MARINHO, T. e ARRUDA, E. 2021. Shell-specific differentiation: how geometric morphometrics can add to knowledge of Macominae species (Tellinidae, Bivalvia). *Marine Biodiversity*, 51. 10.1007/s12526-021-01176-x.
- MARIN, Frederic et al. The formation and mineralization of mollusk shell. **Front. Biosci**, v. 4, n. 3, p. 1099-1125, 2012.
- MARQUES, Rodrigo Cesar; DA SILVA, Alexsandro Márcio; SIMONE, Luiz Ricardo L. Cladistic analysis of the transisthmian genus *Eurytellina* (Bivalvia: Tellinoidea) based on morphological and morphometric data. **Organisms Diversity & Evolution**, v. 22, n. 4, p. 857-891, 2022.
- MÁRQUEZ, Federico; TRIVELLINI, M. Magdalena; VAN DER MOLEN, Silvina. Use of shell shape variation as an assessment tool in the southernmost razor clam fishery. **Fisheries research**, v. 186, p. 216-222, 2017.
- MÁRQUEZ, F.; ROBLEDO, J.; PEÑALOZA, G. E.; VAN DER MOLEN, S. 2010. Use of different geometric morphometrics tools for the discrimination of phenotypic stocks of the striped clam *Ameghinomya antiqua* (Veneridae) in north Patagonia, Argentina. *Fisheries Research*, 101(1-2), 127–131. doi:10.1016/j.fishres.2009.09.018
- MATTHEWS-CASCON, Helena; DA CRUZ LOTUFO, Tito Monteiro. *Biota marinha da costa oeste do Ceará*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- MEDEIROS, Carlinda Raily Ferreira et al. Environmental drivers of the benthic macroinvertebrates community in a hypersaline estuary (Northeastern Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 28, 2016.
- MITTEROECKER, Philipp; GUNZ, Philipp. Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary biology*, v. 36, p. 235-247, 2009.
- MORAIS, Pedro et al. Assessing the morphological variability of *Unio delphinus* Spengler, 1783 (Bivalvia: Unionidae) using geometric morphometry. *Journal of Molluscan Studies*, v. 80, n. 1, p. 17-23, 2014.
- MORÁN, Gisela A. et al. Shell morphometric variation of *Ameghinomya antiqua* (Mollusca, Bivalvia) during the late quaternary reflects environmental changes in North Patagonia, Argentina. *Quaternary International*, v. 490, p. 43-49, 2018.
- MORÁN, Gisela A. et al. Identifying environmental drivers of shell shape and size variation in a widely distributed marine bivalve along the Atlantic Patagonian coast. **Zoologischer Anzeiger**, v. 299, p. 49-61, 2022.

- MORTON, Brian; LEUNG, S. F.; LEUNG, K. F. The biology and functional morphology of *Meretrix cf. meretrix* (Bivalvia: Veneridae: Meretricinae) at Tong Fuk Miu Wan, Shui Hau, Lantau Island, Hong Kong. **Regional Studies in Marine Science**, v. 45, p. 101842, 2021.
- MONEVA, C.S.; BAQUIANO PM, BLASCO JR. J.; BORLAZA K.M.; BURIAS D.M.; FLORES, K. et al. Comparative morphological descriptions of interior shell patterns of the Venerid bivalves: *Meretrix lyrata*, *Mercenaria mercenaria* and *Venerupis philippinarum* using Landmarkbased Geometric Morphometric Analysis. *AAFL Bioflux*. 2014; 7(5):386-395
- MONTEIRO, Leandro Rabello; BORDIN, Benjamin; DOS REIS, Sérgio Furtado. Shape distances, shape spaces and the comparison of morphometric methods. **Trends in ecology & evolution**, v. 15, n. 6, p. 217-220, 2000.
- MOUËZA, Marcel; GROS, Olivier; FRENKIEL, Liliane. Embryonic, larval and postlarval development of the tropical clam, *Anomalocardia brasiliana* (Bivalvia, Veneridae). *Journal of Molluscan Studies*, v. 65, n. 1, p. 73-88, 1999.
- NASCIMENTO, Natália Gomes do et al. Aspectos da dinâmica populacional de *Anomalocardia brasiliana*: subsídios para a pesca sustentável no Litoral Oeste do Ceará, Brasil. **Ciência Animal Brasileira**, v. 23, 2022.
- NEUBAUER, Thomas A.; HARZHAUSER, Mathias; MANDIC, Oleg. Phenotypic evolution in a venerid bivalve species lineage from the late Middle Miocene Central Paratethys Sea: a multi-approach morphometric analysis. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 110, n. 2, p. 320-334, 2013.
- OLIVEIRA, Itala Alves de. Ecologia populacional e dinâmica pesqueira de *Anomalocardia flexuosa* (Linnaeus, 1767)(BIVALVIA: VENERIDAE) em um estuário hipersalino do semiárido brasileiro. 2019.
- PALMER, M.; PONS, G. X.; LINDE, M. Discriminating between geographical groups of a Mediterranean commercial clam (*Chamelea gallina* (L.): Veneridae) by shape analysis. *Fisheries research*, v. 67, n. 1, p. 93-98, 2004.
- PEREZ, Damián Eduardo; SANTELLI, María Belén. Allometric shell growth in infaunal burrowing bivalves: examples of the archiheterodonts *Claibornicardia paleopatagonica* (Ihering, 1903) and *Crassatella kokeni* Ihering, 1899. *PeerJ*, v. 6, p. e5051, 2018.
- PERES-NETO, P. Introdução a análises morfométricas. *Oecologia Brasiliensis*, v. 2, n. 1, p. 3, 1995
- PEZZUTO, Paulo R.; SCHIO, Caroline; ALMEIDA, Tito CM. Efficiency and selectivity of the *Anomalocardia brasiliana* (Mollusca: Veneridae) hand dredge used in southern

- Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 90, n. 7, p. 1455-1464, 2010.
- PEZZUTO, Paulo Ricardo et al. A pesca e o manejo do berbigão (*Anomalocardia brasiliana*)(Bivalvia: Veneridae) na Reserva Extrativista Marinha do Pirajubaé, SC, Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 34, 2015.
- PINTO, S. L. Os moluscos *Anomalocardia flexuosa* (Gmelin, 1791) e *Tagelus plebeius* (Lightfoot, 1786) como bioindicadores de poluição orgânica no estuário da Baía do Pina, Recife-PE, Brasil. 114f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.
- Posit team (2023). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA. URL <http://www.posit.co/>.
- PURROY, Ariadna et al. Combined use of morphological and molecular tools to resolve species mis-identifications in the Bivalvia the Case of *Glycymeris glycymeris* and *G. pilosa*. *PloS one*, v. 11, n. 9, p. e0162059, 2016.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>
- RStudio 2023.12.1+402 "Ocean Storm" Release (4da58325ffcff29d157d9264087d4b1ab27f7204, 2024-01-28) for windowsMozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) RStudio/2023.12.1+402 Chrome/116.0.5845.190 Electron/26.2.4 Safari/537.36
- RESENDE, Raquel et al. A cada um a sua concha. *Revista Brasileira de Zoociências*, v. 17, n. 2, 2016.
- RIOS, E. C. *Seashells of Brazil*. 2. ed. Rio Grande: Fundação Universidade do Rio Grande, v. 492, 2009
- ROBERSON, R. Philip; CASEY, Michelle M. Ecophenotypic shape variability within *Astarte* (Class: Bivalvia) from the Pliocene of the Atlantic Coastal Plain, USA: A study using geometric morphometrics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 528, p. 78-86, 2019.
- RODRIGUES, A. M. L.; BORGES-AZEVEDO, C. M.; HENRY-SILVA, G. G. Aspectos da biologia e ecologia do molusco bivalve *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) (Bivalvia, Veneridae). *Revisão. Revista Brasileira de Biociências*, v. 8, n. 4, p. 377- 383, 2010.
- ROHLF, F. James; SLICE, Dennis. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks. *Systematic zoology*, v. 39, n. 1, p. 40-59, 1990.

- ROHLF, F. J.; MARCUS, L. F. A revolution morphometrics. *Trends in ecology & evolution*, v. 8, n. 4, p. 129-132, 1993.
- ROHLF, F. James. On the use of shape spaces to compare morphometric methods. *Hystrix-the Italian Journal of Mammalogy*, v. 11, n. 1, 2000.
- ROHLF, F.J. 2017a. TpsDig2 2.31. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.
- ROHLF, F.J. 2017b. TpsUtil 1.78. Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook.
- ROOPNARINE, P. D. & G. J. Vermeij, 2000. One species becomes two: the case of *Chione cancellata*, the resurrected *C. elevata*, and a phylogenetic analysis of *Chione*. *Journal of Molluscan Studies*, 66: 517–534
- ROOPNARINE, Peter D.; SIGNORELLI, Javier Hernan; LAUMER, Christopher. Systematic, biogeographic and microhabitat-based morphometric variation of the bivalve *Anomalocardia squamosa* (Bivalvia: Veneridae: Chioninae) in Thailand. 2008.
- ROY, Kaustuv; JABLONSKI, David; MARTIEN, Karen K. Invariant size–frequency distributions along a latitudinal gradient in marine bivalves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 97, n. 24, p. 13150-13155, 2000.
- ROY, Kaustuv; MARTIEN, Karen K. Latitudinal distribution of body size in north-eastern Pacific marine bivalves. **Journal of Biogeography**, v. 28, n. 4, p. 485-493, 2001.
- RUFINO, Marta M. et al. Use of shape to distinguish *Chamelea gallina* and *Chamelea striatula* (Bivalvia: Veneridae): linear and geometric morphometric methods. **Journal of Morphology**, v. 267, n. 12, p. 1433-1440, 2006.
- SANTOS, Weverton John Pinheiro dos et al. Variação morfométrica de *Tivela mactroides* (Bivalvia, Veneridae) no litoral Norte-Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Zociências (Online)**, p. 1-11, 2020.
- SCHLUTER, Dolph. **The ecology of adaptive radiation**. OUP Oxford, 2000.
- SEILACHER, Adolf; GISHLICK, Alan D. **Morphodynamics**. Oxfordshire, UK: Taylor & Francis, 2015.
- SHUROVA, N. M. Influence of Salinity on the Structure and the State of Bivalve *Mytilus galloprovincialis* populations. **Russian Journal of Marine Biology**, v. 27, p. 151-155, 2001.
- SIGNORELLI, Javier H.; MÁRQUEZ, Federico; PASTORINO, Guido. Phenotypic variation of south-western Atlantic clam *Macra isabelleana* (Bivalvia: Mactridae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 93, n. 2, p. 511-517, 2013.

- SIGNORELLI, Javier H.; TROVANT, Berenice; MÁRQUEZ, Federico. A cryptic species of *Ensis* (Bivalvia: Pharidae) from the southeastern Pacific coast revealed by geometric morphometric methods. *Scientia Marina*, v. 86, n. 2, p. e032-e032, 2022.
- SILVA, Felipe Rafael Secco da et al. Threshold of motion and orientation of bivalve shells under current flow. **Brazilian Journal of Geology**, v. 53, p. e20220080, 2023.
- SILVA-CAVALCANTI, JACQUELINE S.; COSTA, MONICA F. Fisheries of *Anomalocardia brasiliensis* in tropical estuaries. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, v. 6, n. 2, p. 86-99, 2011.
- SILVA-CAVALCANTI, J. S., COSTA, M. F, ALVES L. H. B. 2018. Seasonal variation in the abundance and distribution of *Anomalocardia flexuosa* (Mollusca, Bivalvia, Veneridae) in an estuarine intertidal plain. *PeerJ* 6:e4332 <https://doi.org/10.7717/peerj.4332>
- SNYDER, M. (Ed.). *Aquatic Ecosystems: Influences, Interactions, and Impact on the Environment*. New Jersey: Nova Science Publishers, 2016. p. 1-29
- SOARES, Marcelo de Oliveira et al. Challenges and perspectives for the Brazilian semi-arid coast under global environmental changes. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 267-278, 2021.
- SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, p. 427-435, 2005.
- STANLEY, Steven M. Infaunal survival: alternative functions of shell ornamentation in the *Bivalvia* (Mollusca). **Paleobiology**, v. 7, n. 3, p. 384-393, 1981.
- STANLEY, Steven M.; TRUEMAN, E. R. Adaptive morphology of the shell in bivalves and gastropods. **The mollusca**, v. 11, p. 105-141, 1988.
- SHERRATT, Emma et al. Trends in the sand: directional evolution in the shell shape of recessing scallops (Bivalvia: Pectinidae). *Evolution*, v. 70, n. 9, p. 2061-2073, 2016.
- Stanley, S. (1970) Relation of shell form to life habitats in the bivalve mollusca. *Memoirs - Geological Society of America*, 125.
- TAYLOR, John David. The shell structure and mineralogy of the *Bivalvia* II: Lucinacea-Clavagellacea, conclusions. **Bull. Brit. Mus. Nat. Hist., Zool.**, v. 22, p. 255-294, 1973.
- TOMAŠOVÝCH, Adam et al. Unifying latitudinal gradients in range size and richness across marine and terrestrial systems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 283, n. 1830, p. 20153027, 2016.
- TORREJÓN-MAGALLANES, E. 'sizeMat': An R package to Estimate Size at Sexual Maturity. 2016

- TURRA, Alexander et al. Non-linear curve adjustments widen biological interpretation of relative growth analyses of the clam *Tivela mactroides* (Bivalvia, Veneridae). **PeerJ**, v. 6, p. e5070, 2018.
- UBA, K. I. N. Sexual dimorphism, asymmetry, and allometry in the shell shape of *Modiolus metcalfei* (Hanley, 1843) collected from Dumangas, Iloilo, Philippines: a geometric morphometric approach. *Computational Ecology and Software*, v. 9, n. 3, p. 107, 2019.
- VALLADARES, Alejandro; MANRÍQUEZ, Germán; SUÁREZ-ISLA, Benjamín A. Shell shape variation in populations of *Mytilus chilensis* (Hupe 1854) from southern Chile: a geometric morphometric approach. *Marine biology*, v. 157, n. 12, p. 2731-2738, 2010.
- VAQUERO, Ronnie Alexandre Moreira; SÜHNEL, Simone; CARGNIN-FERREIRA, Eduardo. Mortality of the Clam *Anomalocardia brasiliensis* Population in the Pirajubaé Marine Extractive Reserve: Effect of Climate Events?. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 45, p. 1-8, 2022.
- VAUX, Felix et al. Evolutionary lineages of marine snails identified using molecular phylogenetics and geometric morphometric analysis of shells. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, v. 127, p. 626-637, 2018.
- VISCOSI, V.; CARDINI, A. Leaf morphology, taxonomy and geometric morphometrics: a simplified protocol for beginners. *PloS one*, v. 6, n. 10, p. e25630, 2011.
- WADA, Hiroshi et al. Establishment of the novel bivalve body plan through modification of early developmental events in mollusks. **Evolution & Development**, v. 22, n. 6, p. 463-470, 2020.
- WÄRMLÄNDER, Sebastian KTS et al. Landmark typology in applied morphometrics studies: What's the point?. **The Anatomical Record**, v. 302, n. 7, p. 1144-1153, 2019.
- WATSON, Sue-Ann et al. Marine invertebrate skeleton size varies with latitude, temperature and carbonate saturation: implications for global change and ocean acidification. *Global Change Biology*, v. 18, n. 10, p. 3026-3038, 2012
- WEBSTER, M. A. R. K.; SHEETS, H. D. A practical introduction to landmark-based geometric morphometrics. *The paleontological society papers*, v. 16, p. 163-188, 2010.
- WILCOX, Rand R.; KESELMAN, H. J. Modern robust data analysis methods: measures of central tendency. *Psychological methods*, v. 8, n. 3, p. 254, 2003.
- WICKHAM, H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>.
- Wickham H, Bryan J (2023). *readxl: Read Excel Files*. <https://readxl.tidyverse.org>, <https://github.com/tidyverse/readxl>.

YEOH, Li Hao et al. The effect of adult cockles, *Austrovenus stutchburyi*, on sediment transport. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 570, p. 151975, 2024.

ZAGATTO, Pedro A. BERTOLETTI, E. Ecotoxicologia aquática: princípios e aplicações. RiMa, 2008.

ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKY, D. L.; SHEETS, H. D. Geometric Morphometrics for Biologists: A primer. Second Edition. 2012.