

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS DO PONTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ANA FLAVIA MACHADO BATISTA

Impacto do Cativeiro na Morfologia das Orcas (*Orcinus orca*)

Ituiutaba

2025

ANA FLAVIA MACHADO BATISTA

Impacto do Cativeiro na Morfologia das Orcas (*Orcinus orca*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte das exigências do curso de
graduação em Ciências Biológicas –
Modalidade Bacharel, do Instituto de Ciências
e Natureza do Pontal da Universidade Federal
de Uberlândia

Orientador: Prof. Dra. Sabrina Coelho

Coorientador: Prof. Dra. Elisa Queiroz Garcia

Ituiutaba

2025

ANA FLAVIA MACHADO BATISTA

Impacto do Cativeiro na Morfologia das Orcas (*Orcinus orca*)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como parte das exigências do curso de
graduação em Ciências Biológicas –
Modalidade Bacharel, do Instituto de Ciências
e Natureza do Pontal da Universidade Federal
de Uberlândia

Ituiutaba, data

Banca Examinadora:

Sabrina Coelho Rodrigues – Doutora (ICENP)

Elisa Queiroz Garcia – Doutora (UNIPAM)

Vanessa Suzuki Katagiri Pereira– Mestra (ICENP)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a professora e tutora Gabriela Lícia pelo incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica, fundamentais para a realização deste trabalho.

Expresso minha profunda gratidão à minha orientadora, Sabrina Coelho, e à minha coorientadora Elisa Queiroz, que esteve comigo desde o início do projeto, quando ainda era apenas uma iniciação científica, pelo apoio, paciência e valiosas contribuições.

Aos meus amigos e família, agradeço pelo apoio mental e emocional indispensável durante toda essa jornada.

Agradeço à PET Biologia (Programa de Educação Tutorial do Pontal) pelo suporte acadêmico e à PROGRAD pelo apoio financeiro, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho comparou a morfologia externa de orcas (*Orcinus orca*) mantidas em cativeiro e em vida livre por meio da morfometria geométrica, visando identificar alterações corporais associadas ao confinamento e discutir suas implicações para o bem-estar animal e a conservação da espécie. Foram analisadas 48 imagens laterais padronizadas, sendo 24 de orcas em cativeiro e 24 em vida livre, com a marcação de 24 marcos anatômicos por indivíduo. A análise estatística incluiu Análise de Componentes Principais (PCA) e construção de correlogramas para avaliar padrões de variação e integração morfológica. Os resultados indicam uma clara separação morfológica entre os grupos, com orcas em vida livre apresentando maior coesão e integração morfológica, enquanto as orcas em cativeiro exibiram maior ocorrência de correlações negativas, sugerindo alterações morfológicas possivelmente decorrentes das restrições ambientais do cativeiro. Essas diferenças refletem adaptações ou compensações morfológicas associadas ao ambiente artificial, corroborando evidências de impactos negativos do confinamento sobre a saúde e o comportamento desses cetáceos. O estudo destaca a morfometria geométrica como ferramenta eficaz para avaliar o estado físico de orcas e reforça a necessidade de práticas de manejo que priorizem o bem-estar e a conservação *in situ* da espécie.

Palavras-chave: orca; morfometria geométrica; cativeiro; bem-estar animal

ABSTRACT

This study compares the external morphology of captive and wild orcas (*Orcinus orca*) using geometric morphometrics, aiming to identify body shape changes associated with confinement and discuss their implications for animal welfare and species conservation. A total of 48 standardized lateral images were analyzed, including 24 captive and 24 wild orcas, with 24 anatomical landmarks marked per individual. Statistical analyses included Principal Component Analysis (PCA) and correlograms to assess patterns of morphological variation and integration. The results indicate a clear morphological separation between groups, with wild orcas showing greater morphological cohesion and integration, while captive orcas exhibited a higher occurrence of negative correlations, suggesting morphological alterations possibly resulting from environmental restrictions in captivity. These differences reflect morphofunctional adaptations or compensations linked to the artificial environment, supporting evidence of the negative impacts of confinement on the health and behavior of these cetaceans. The study highlights geometric morphometrics as an effective tool to assess the physical condition of orcas and emphasizes the need for management practices that prioritize welfare and in situ conservation of the species.

Keywords: orca; geometric morphometrics; captivity; animal welfare.

Sumario

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo geral	9
2.2 Objetivos específicos	9
3. METODOLOGIA	10
3.1 Coleta e seleção das imagens	10
3.2 Marcação dos marcos anatômicos	10
3.3 Processamento dos dados	11
3.4 Análise estatística	12
4. RESULTADOS	14
4.1 Caracterização dos dados e qualidade das imagens	14
4.2 Análise de Componentes Principais (PCA)	15
4.3 Correlogramas: padrões de integração morfológica	16
4.3.1 Orcas em cativeiro	16
4.3.2 Orcas de vida livre	17
4.4 Comparação descritiva entre os grupos	19
5. DISCUSSÃO	20
6. CONCLUSÃO	22
7. REFERÊNCIAS	23

1. INTRODUÇÃO

O termo cativeiro denota a privação de liberdade, como em um zoológico onde os animais são mantidos em confinamento. Os primeiros registros que se tem de zoológicos, começou com os egípcios, por volta de 2500 a.C, quando capturavam diversos animais em suas viagens, e os mantinham como símbolo de força e poder (Sanders e Feijó, 2007). Nesse mesmo sentido os romanos mantinham animais para seus jogos e arenas, onde o imperador Trajano chegou a usar milhares de animais que foram mortos durante 123 dias consecutivos de jogos. Os primeiros zoológicos modernos foram fundados em Viena, Madri e Paris no século XVIII e em Londres e Berlim, no século XIX (Singer, 1985).

Os zoológicos são muitas vezes lembrados apenas para entretenimento do público, mas foi só a partir dos anos 50, que foi declarado como objetivo principal dos zoológicos a conservação das espécies e preservação da conservação da biodiversidade. Além de educação ambiental, para fins de desenvolvimento de pesquisas científicas (Catão, 2003). O SeaWorld é um dos parques temáticos mais conhecidos nos EUA, que tem como seu maior destaque, shows com golfinhos e orcas em tanques de água.

As orcas (*Orcinus orca*) são conhecidas popularmente como baleias assassinas, são os maiores membros da família Delphinidae (Ford, 2009; Heyning; Dahlheim, 1988). Os machos podem atingir até 9 metros de comprimento e pesar até 9 e 10 toneladas, enquanto as fêmeas são menores, com até 8,5 metros e peso entre 6 e 8 toneladas (Ford, 2009). As orcas são facilmente identificadas na natureza devido sua característica mais marcante, a sua coloração, elas têm o dorso preto e parte inferior branca, além de mancha branca pós oculares (Suárez-esteban et al., 2017). Sua distribuição varia de acordo com as regiões e ecossistemas específicos, no entanto, são mais comuns em águas costeiras e regiões frias (Lawson; Stevens, 2013). As orcas são predadores topo de cadeia, e dependo da região seu hábito alimentar pode variar de peixes como salmão até grandes mamíferos marinhos, como focas e botos (Ford, 2009). Elas atingem a maturidade sexual entre 10-20 anos, com gestação de 15-18 meses, e o filhote é amamentado por cerca de ano. A estrutura social das orcas é fundamental e complexa, organizada em matrilinhas e comunidades, demonstrando a profundidade de suas interações sociais (University Of British Columbia, 2005; Ford, 2009).

A facilidade de interação com humanos tornou as orcas alvos frequentes de captura. Desde 1961, exemplares têm sido mantidos em cativeiro, e a partir de 1985 observou-se sucesso em reprodução sob essas condições. No entanto, o confinamento também trouxe

consequências negativas, como casos de agressividade, como o famoso caso da orca Tilikum, e evidências de estresse físico e comportamental.

Diante da crescente discussão sobre o bem-estar de cetáceos em cativeiro, torna-se necessário ampliar a investigação sobre os possíveis impactos físicos dessa condição. A morfometria geométrica surge como uma ferramenta não invasiva e eficiente para identificar variações sutis na forma corporal de animais. Assim, este estudo visa contribuir com evidências que auxiliem no debate sobre o manejo de orcas em cativeiro, considerando seus aspectos morfológicos como reflexos das condições ambientais às quais estão submetidas.

2. OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é comparar a morfologia externa de orcas (*O. orca*) mantidas em cativeiro e em vida livre por meio da morfometria geométrica, a fim de identificar possíveis alterações corporais associadas às condições de confinamento e discutir suas implicações para o bem-estar animal e a conservação da espécie

2.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Aplicar a morfometria geométrica para mapear e quantificar características anatômicas externas de orcas (*O. orca*) por meio da marcação de marcos anatômicos em imagens padronizadas.
- Analisar a variação morfológica entre orcas de cativeiro e vida livre utilizando Análise de Componentes Principais (PCA), com o objetivo de identificar padrões de diferenciação corporal relacionados ao ambiente de vida.
- Investigar os padrões de integração morfológica entre marcos anatômicos por meio da construção de correlogramas, comparando a força e o tipo de correlação dentro de cada grupo (cativeiro e vida livre).
- Interpretar os padrões morfométricos encontrados à luz do bem-estar animal, considerando as limitações ambientais impostas pelo cativeiro e suas possíveis implicações para a conservação da espécie.

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta e seleção das imagens

Foram utilizadas 48 imagens laterais de orcas (*Orcinus orca*), sendo 24 de indivíduos em cativeiro e 24 de vida livre, abrangendo ambos os sexos. Apesar do dimorfismo sexual presente na espécie, o sexo dos animais não foi considerado ou relacionado na análise da pesquisa. As imagens foram obtidas por meio de buscas em fontes públicas, considerando vídeos e fotografias disponibilizadas por organizações científicas, instituições de pesquisa, parques marinhos e fotógrafos profissionais especializados em vida selvagem.

A seleção das imagens foi baseada em critérios padronizados de qualidade, como: visão lateral completa do corpo, boa resolução, iluminação adequada e ausência de obstruções anatômicas. A atenção foi especialmente direcionada à região entre o rostro (focinho) e a nadadeira caudal, para garantir a identificação precisa dos marcos anatômicos.

Para padronização, priorizou-se o uso de imagens com a lateral esquerda do corpo do animal. Nos casos em que a imagem apresentava a lateral direita, foi realizada a inversão horizontal. Além disso, foram selecionadas imagens em que as orcas estavam com o corpo o mais alinhado possível, a fim de evitar distorções posturais que pudessem interferir na marcação dos pontos morfológicos.

3.2. Marcação dos marcos anatômicos

Após a conversão das imagens para o formato tps com o programa TPSUtil (versão 1.83), utilizou-se o software TPSDig (versão 2.32, 64 bits) para a marcação dos marcos anatômicos.

Foram definidos 24 marcos anatômicos por indivíduo, distribuídos entre regiões da cabeça, barbatana dorsal, nadadeiras peitorais e caudal, linha ventral e região torácica. A escolha desses pontos visou representar de forma abrangente a morfologia externa das orcas, considerando áreas relevantes para a análise comparativa.

Os marcos foram organizados em grupos anatômicos, diferenciados por cores específicas:

- **Verde:** região da cabeça;
- **Laranja:** barbatana dorsal;
- **Azul:** nadadeira caudal;
- **Vermelho:** linha ventral;
- **Roxo:** nadadeira peitoral.

A marcação foi padronizada para todos os indivíduos, respeitando a correspondência anatômica entre os marcos, conforme representado na Figura 1.



Figura 1 – Representação esquemática da orca (*Orcinus orca*) indicando a localização dos 24 marcos anatômicos utilizados na análise morfométrica. Os pontos estão distribuídos em cinco regiões anatômicas específicas: cabeça (verde), barbatana dorsal (laranja), nadadeira caudal (azul), linha ventral (vermelho) e nadadeira peitoral (roxo). Cada cor representa um grupo anatômico distinto, facilitando a visualização e a padronização da marcação entre os indivíduos analisados. A ilustração foi adaptada do Canva, com as marcações elaboradas pela autora. **Fonte:** Canva

3.3. Processamento dos dados

Após a marcação dos marcos anatômicos para análise estatística. As coordenadas x e y de cada ponto anatômico foram organizadas em planilhas no Excel, com identificação individual para cada orca e seus respectivos marcos (Tabela 1).

Tabela 1 – Exemplo de organização dos dados de coordenadas dos marcos anatômicos das orcas. As coordenadas registradas são bidimensionais, apresentando os valores x e y para cada ponto demarcado. **Fonte:** a autora.

ORCA	PONTA BOCA	MELON
Ran II x	39,00000	77,00000
Ran II y	185,00000	200,00000
Oscar x	126,00000	151,00000
Oscar y	267,00000	292,00000

Para facilitar o processamento dos dados e padronizar as medidas, foi utilizado o cálculo da Distância Euclidiana, que permite representar a distância espacial entre dois pontos em um plano. Esse cálculo transforma as coordenadas cartesianas (x, y) em um único valor numérico (Figura 2), facilitando a análise comparativa entre os indivíduos.

A escolha desse método se deve à sua facilidade de aplicação e clareza na interpretação dos dados, especialmente em estudos com imagens bidimensionais.

Algumas imagens apresentaram ausência de coordenadas em determinados pontos anatômicos, devido a deformações, dobras ou obstruções parciais (ex: nadadeira dorsal dobrada ou fora do enquadramento). Nestes casos, os valores foram definidos como NA (*Not Available*), representando a ausência de dado numérico para tratamento estatístico posterior.

$$d = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$$

Figura 2 – Fórmula de Distância Euclidiana

Fonte: a autora.

3.4. Análise estatística

A Análise de Componentes Principais (PCA) foi o primeiro método estatístico aplicado neste estudo, com o objetivo de identificar os principais eixos de variação morfométrica entre os indivíduos estudados. Essa abordagem transformou os dados das coordenadas obtidas nos pontos de referência anatômicos em componentes principais (PCs), que representam a maior parte da variância morfológica presente nos grupos analisados. Dessa forma, foi possível detectar padrões e diferenças estruturais relevantes na forma corporal, relacionados ao ambiente de vida das orcas (vida livre ou cativeiro).

Os dados foram analisados no software RStudio, incluindo a Análise de Componentes Principais (PCA), utilizando os pacotes *ggplot2*, *patchwork* e *rlang*. Os dados foram lidos a partir de um arquivo de texto (*read.table*), sendo removidas as colunas “Scale” e “Orca” e excluídas as colunas que continham valores ausentes (NA). Todas as variáveis remanescentes foram convertidas para o tipo numérico.

O PCA foi realizado com a função *prcomp()* do R, empregando o argumento *scale. = TRUE* para padronizar as variáveis (média zero e desvio-padrão igual a um). Foram atribuídos rótulos de grupo (“livre” e “cativeiro”) às observações, permitindo a diferenciação nas representações gráficas. Foram analisados ao final disso, 17 componentes principais, correspondentes às variáveis morfométricas remanescentes após o tratamento dos dados.

As visualizações foram elaboradas com *ggplot2*, gerando gráficos de dispersão para todos os pares de componentes principais, com coloração por grupo e elipses de confiança a 95% (*stat_ellipse()* com *type = "norm"*). Os gráficos foram organizados com o pacote *patchwork*, enquanto o pacote *rlang* foi utilizado para manipulação programática dos nomes de variáveis (*sym()* e operador *!!*).

Outro recurso utilizado foram os Correogramas foram construídos no RStudio com o pacote *corrplot*. Os dados originais foram lidos a partir de um arquivo de texto (*read.table*), removendo-se colunas não numéricas, incluindo “Scale” e “Orcas”. As análises foram feitas separadamente para orcas de cativeiro e para orcas de vida livre, considerando 24 indivíduos em cada grupo.

Para cada grupo, as matrizes de correlação de Pearson foram obtidas com a função *cor()*, utilizando o argumento *use = "pairwise.complete.obs"* para preservar o máximo possível de dados na presença de valores ausentes. As intensidades das correlações foram classificadas como: fortemente positiva ($> 0,7$), moderada (entre 0,4 e 0,69), fraca ou nula (entre -0,39 e 0,39) e negativa ($< -0,39$).

A visualização foi feita com a função *corrplot()*, no formato de matriz triangular inferior (*type = "lower"*) e método “square” para representação em blocos quadrados. Foi utilizada uma paleta contínua de cores de azul para correlações negativas, e vermelho para correlações positivas, com branco como valor intermediário. A ordem das variáveis foi mantida (*order = "original"*) para preservar a correspondência visual com a legenda anatômica.

As cores dos rótulos das variáveis (*tl.col*) foram personalizadas manualmente para indicar a região anatômica: verde (cabeça), laranja (barbatana dorsal anterior e intermediária), amarelo (base dorsal intermediária), azul (barbatana caudal), vermelho (região ventral) e roxo (barbatana peitoral). As imagens foram salvas em arquivos .png de 1000×1000 pixels para posterior uso no documento final.

A fim de minimizar possíveis vieses nas medições morfométricas, foi realizado um controle rigoroso das imagens utilizadas. Apenas imagens com orientação lateral padronizada e qualidade adequada foram incluídas na análise. A escala foi ajustada ou padronizada pela exclusão da variável “Scale” ou “Orca” no conjunto de dados, garantindo que todas as medidas comparáveis fossem relativas entre si. Todas as marcações anatômicas foram realizadas pela mesma pessoa, seguindo o mesmo protocolo para todos os indivíduos

4. RESULTADO

As análises buscaram identificar padrões de variação e integração morfológica entre os grupos, com base na posição dos marcos anatômicos definidos previamente.

Os correlogramas foram construídos mantendo-se os valores ausentes (NA), permitindo a visualização da força de correlação entre marcos em cada grupo. Já a Análise de Componentes Principais (PCA) foi realizada com um conjunto de dados filtrado, a partir da exclusão de sete marcos anatômicos com excesso de dados ausentes, totalizando 17 variáveis morfológicas utilizadas na análise multivariada.

4.1. Análise de Componentes Principais (PCA)

A Análise de Componentes Principais na Figura 3 apresenta o gráfico bidimensional dos dois componentes (PC1 e PC2), que juntos explicam 97,1% da variação morfológica total (PC1 = 67,1%; PC2 = 30%). Observa-se uma tendência de separação entre os grupos, sugerindo que diferenças na forma corporal podem estar associadas ao ambiente de vida (cativeiro ou vida livre), além de possíveis efeitos relacionados à sobreposição de estruturas anatômicas nas imagens

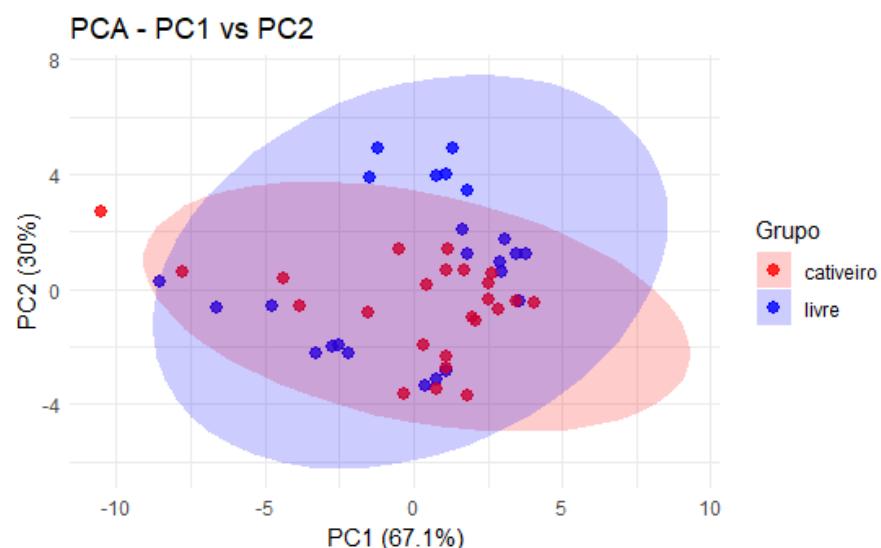


Figura 3 - Projeção dos indivíduos no espaço morfológico bidimensional a partir da Análise de Componentes Principais (PCA), considerando os dois primeiros componentes (PC1 e PC2). Os dados representam 24 orcas em cativeiro (azul) e 24 em vida livre (vermelho). As elipses indicam a zona de confiança de 95% para cada grupo. Observa-se uma tendência de separação entre os grupos, com PC1 explicando 67,1% da variação e PC2, 30%. **Fonte:** Elaboração própria.

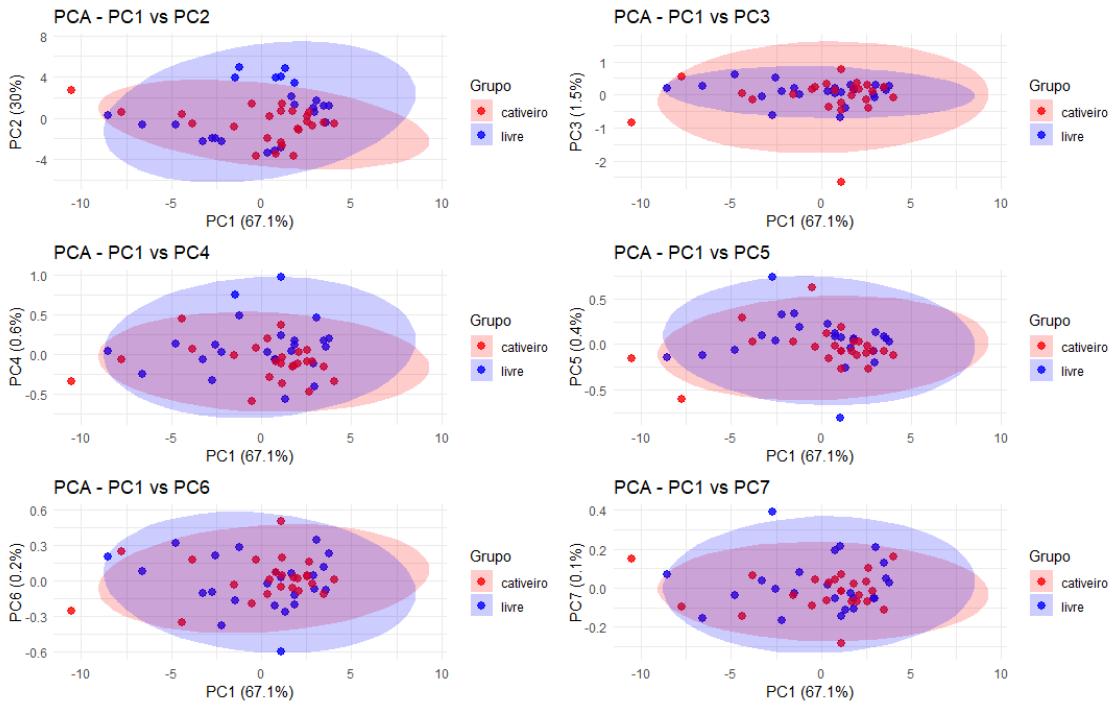


Figura 4 - Projeções bivariadas adicionais entre os componentes principais (PC1 a PC7) geradas a partir da PCA. As combinações ilustradas evidenciam diferentes padrões de variação morfológica entre os grupos de orcas de cativeiro (azul) e vida livre (vermelho). As elipses de confiança (95%) permitem observar a tendência de agrupamento conforme a origem dos indivíduos. **Fonte:** Elaboração própria com base nos scores da PCA

4.2. Correlogramas: padrões de integração morfológica

4.2.1. Orcas de cativeiro

O correograma das orcas mantidas em cativeiro (Figura 5) revela uma predominância de correlações positivas entre os marcos anatômicos. A maioria dessas correlações é moderada a forte, sendo representada por quadrados vermelhos. As principais associações significativas ocorrem entre marcos localizados na mesma região corporal, o que indica a presença de padrões de integração morfológica regionalizada.

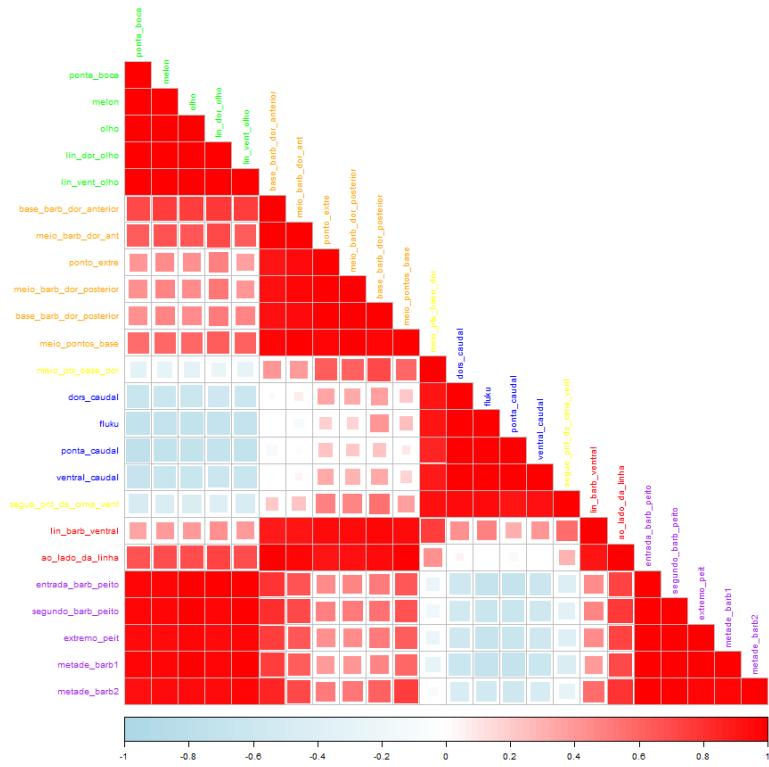


Figura 5: Matriz de correlação com coeficientes de Pearson entre os marcos anatômicos das orcas mantidas em cativeiro, exibida no formato triangular inferior. As cores indicam a intensidade das correlações: vermelho (fortemente positivas), rosa (moderadas), branco (fracas), azul-claro (nulas) e azul-escuro (negativas). As variáveis foram organizadas por grupos anatômicos e coloridas conforme a região do corpo. **Fonte:** Elaboração própria

4.2.2. Orcas de vida livre

O correograma das orcas em vida livre (Figura 6) foi construído utilizando a mesma base de dados, metodologia estatística e estrutura visual aplicada ao grupo de cativeiro. Cada célula da matriz representa o coeficiente de correlação de Pearson entre dois marcos anatômicos, com cores indicativas da intensidade e direção das correlações

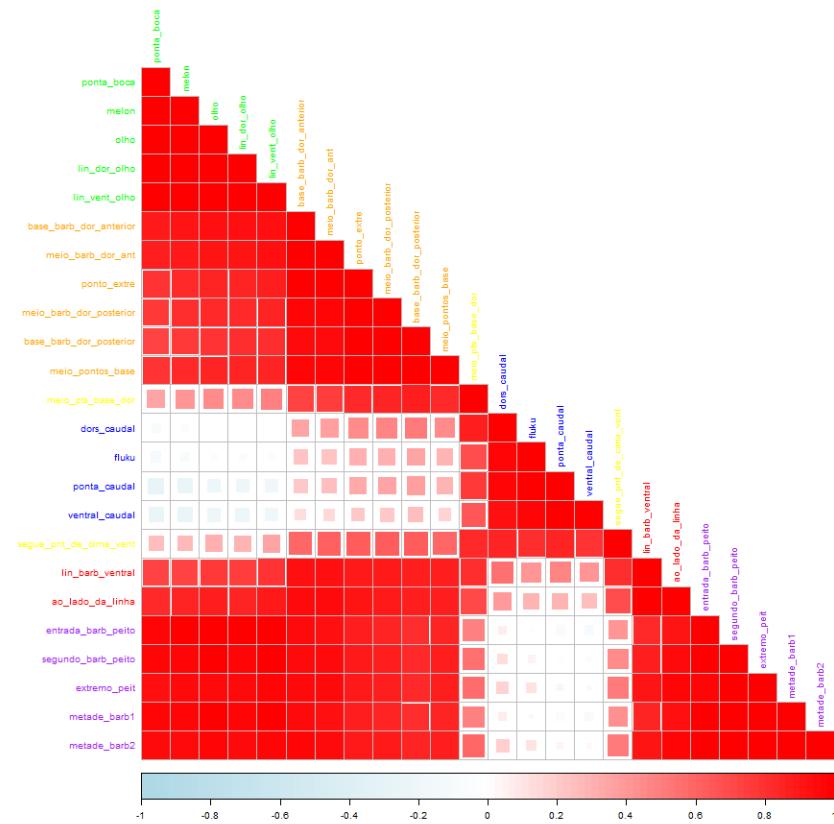


Figura 6- Matriz de correlação com coeficientes de Pearson entre os marcos anatômicos das orcas de vida livre, exibida no formato triangular inferior. As cores indicam a intensidade das correlações: vermelho (fortemente positivas), rosa (moderadas), branco (fracas), azul-claro (nulas) e azul-escuro (negativas). As variáveis foram organizadas por grupos anatômicos e coloridas conforme a região do corpo. **Fonte:** Elaboração própria utilizando RStudio

A análise revelou que 63,4% das correlações entre os marcos anatômicos foram fortemente positivas (valores $\geq 0,7$), indicando um alto grau de integração morfológica. Outras 10,5% situaram-se na faixa moderadamente positiva (valores entre 0,4 e 0,69), enquanto 25,4% das correlações foram classificadas como fracas ou nulas (valores entre -0,09 e 0,39). Não foram observadas correlações negativas moderadas ou fortes (valores $< -0,39$) neste grupo, conforme detalhado na Tabela 3.

O padrão observado sugere que as orcas em vida livre apresentam maior coesão morfológica entre os diferentes marcos anatômicos, principalmente entre pontos localizados em uma mesma região corporal. Esse resultado pode refletir as exigências biomecânicas e funcionais do ambiente natural, no qual a forma corporal está intimamente associada ao desempenho locomotor, à eficiência hidrodinâmica e ao comportamento social em liberdade.

Tabela 3 – Classificação das correlações entre marcos anatômicos em orcas de vida livre, de acordo com a intensidade dos coeficientes de Pearson. As correlações foram agrupadas em quatro categorias: fortemente positivas ($\geq 0,7$), moderadamente positivas (0,4 a 0,69), fracas ou nulas (-0,09 a 0,39) e negativas ($< -0,1$). A tabela apresenta a proporção de pares de variáveis que se enquadram em cada categoria, indicando o grau de integração morfológica entre diferentes regiões corporais. **Fonte:** a autora

CATEGORIA DA CORRELAÇÃO	INTERVALO	PROPORÇÃO (%)
Fortemente positiva	$\geq 0,7$	63,4%
Moderadamente positiva	0,4 e 0,69	10,5 %
Fraca ou nula	-0,39 e 0,39	25,4 %
Total negativado	$< -0,39$	0 %

4.3. Comparação descritiva entre os grupos

Embora não tenha sido realizada análise estatística inferencial formal, foram identificadas diferenças relevantes nos padrões morfométricos entre os dois grupos de orcas.

As orcas em vida livre apresentaram uma maior proporção de correlações fortemente positivas entre os marcos anatômicos (63,4%), em comparação com as orcas mantidas em cativeiro (39,9%). Esse resultado sugere uma maior coesão morfológica no grupo de vida livre, possivelmente relacionada às demandas biomecânicas naturais do ambiente selvagem.

Por outro lado, o grupo em cativeiro apresentou uma proporção expressiva de correlações negativas moderadas a fortes (17%), ausentes no grupo de vida livre. Tais padrões negativos podem refletir ajustes compensatórios na forma corporal, resultantes das limitações impostas pelo ambiente restritivo do cativeiro, como confinamento espacial, sedentarismo e alterações no comportamento locomotor.

5. DISCUSSÃO

A análise dos dados revelou padrões morfológicos distintos entre as orcas de cativeiro e as de vida livre. A Análise de Componentes Principais (PCA) demonstrou uma clara separação entre os dois grupos, indicando que as diferenças na forma corporal estão fortemente associadas ao ambiente em que vivem. Embora haja alguma sobreposição, a distinção visual é consistente, sugerindo que fatores como estímulos ambientais, espaço para nadar, e a estrutura social podem influenciar a morfologia. Observou-se que as regiões da cabeça e das barbatanas peitorais foram as mais influentes nessa diferenciação. Em orcas selvagens, essas estruturas parecem mais desenvolvidas ou integradas, sendo crucial para funções como orientação espacial, predação e comunicação. Em contraste a isso, a menor variação morfológica observada nas orcas em cativeiro pode ser um reflexo da limitação de estímulos motores e sensoriais presentes em ambientes artificiais.

Em acréscimo, a investigação dos padrões de integração morfológica através dos correlogramas reforçou essas distinções. Orcas de vida livre exibiram um alto grau de correlações positivas entre seus marcos anatômicos, indicando um desenvolvimento corporal coeso e integrado, típico de adaptações a um ambiente natural complexo. A ausência de correlações negativas nesse grupo sugere uma harmonia no crescimento e na forma. Por outro lado, as orcas em cativeiro apresentaram uma proporção significativamente menor de associações altamente positivas e, notavelmente, a presença de correlações negativas. Essas correlações negativas podem apontar para mudanças morfológicas assimétricas e uma integração morfológica reduzida, possivelmente decorrentes das restrições do cativeiro, como recintos limitados, que podem levar a alterações biomecânicas no movimento e sobrecarga musculoesquelética localizada.

A integração morfológica reduzida e as correlações negativas observadas nas orcas em cativeiro sugerem que as restrições do ambiente artificial podem levar a adaptações restritas ou desorganizadas no desenvolvimento corporal. Esse quadro morfológico relaciona-se diretamente com evidências fisiológicas e neurocomportamentais apresentadas na literatura. Por exemplo, Fischer e Romero (2019) descrevem como o estresse crônico em animais de cativeiro, mesmo com necessidades físicas básicas atendidas, pode induzir estresse fisiológico prolongado. Tal estresse pode resultar em problemas como perda de peso, alterações imunológicas e redução da capacidade reprodutiva, corroborando a ideia de que o confinamento afeta a saúde geral do animal, o que pode se manifestar morfológicamente.

A vulnerabilidade de espécies com cérebros grandes e capacidades cognitivas complexas em cativeiro é um ponto de similaridade com outros estudos. Jacobs et al. (2021) observaram comportamentos anormais e estereotipados em elefantes e cetáceos confinados, sugerindo que esses animais sofrem danos neurobiológicos devido à falta de um ambiente natural estimulante. A morfologia craniana dos odontocetos, fortemente relacionada ao seu nicho ecológico e comportamento alimentar (Vicari, 2020), reforça que as alterações anatômicas observadas em cativeiro podem refletir mudanças funcionais e ecológicas forçadas, alinhando-se com a ideia de que a forma segue a função e que um ambiente restritivo impõe novas pressões adaptativas.

A integração morfológica observada em orcas de vida livre, por sua vez, pode ser compreendida pelos conceitos de plasticidade fenotípica adaptativa e modularidade. Segundo Zelditch et al. (2004), ambientes naturais favorecem padrões de covariância que promovem a funcionalidade e eficiência das regiões anatômicas. A ausência de correlações negativas entre as partes do corpo das orcas selvagens, como observado em nossos resultados, sugere um desenvolvimento integrado, essencial para seu desempenho ecológico. A pesquisa de Klingenberg (2008) destaca que a modularidade morfológica permite que diferentes partes do corpo respondam de forma independente às pressões ambientais, favorecendo a adaptação a diferentes condições. Essa interação entre integração e modularidade é crucial para entender como as orcas otimizam suas características físicas em resposta aos desafios do habitat natural.

Além das implicações morfológicas diretas, o alto número de mortalidades de filhotes e a baixa taxa de sobrevivência de orcas adultas em instalações cativas, com doenças infecciosas como principal causa (Marino et al., 2020), reforçam a associação com estresse crônico e disfunção imunológica. Marino et al. (2020) argumentam que a complexidade cognitiva, psicológica e comportamental é determinante para a experiência de um indivíduo em cativeiro, e quanto maior essa complexidade, maior a necessidade de um ambiente e experiências complexas. Nossos achados morfológicos fornecem uma evidência física adicional que corrobora a visão de que o cativeiro impõe um custo biológico significativo a esses animais.

Entretanto, este estudo apresenta limitações importantes que devem ser consideradas na interpretação dos resultados. O tamanho amostral relativamente pequeno, com 24 indivíduos por grupo, pode limitar a generalização dos achados para toda a população de orcas em cativeiro e vida livre. Além disso, o uso de imagens públicas, embora necessário para a obtenção de dados de orcas em vida livre, implica variações inevitáveis de

qualidade, resolução e ângulo de visualização. Tais variações, apesar dos esforços de padronização metodológica, podem ter afetado a precisão das medidas morfométricas e, consequentemente, a consistências das análises. A ausência de dados detalhados sobre a idade e o sexo de todos os indivíduos também representa uma limitação, pois esses fatores podem influenciar a morfologia e a plasticidade fenotípica, e sua inclusão poderia refinar a análise das diferenças observadas.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação do presente estudo, buscando aumentar o tamanho amostral e incluir dados mais detalhados sobre a idade e o sexo dos indivíduos, o que permitiria análises mais refinadas das variações morfológicas. Além disso, a associação de dados morfométricos com indicadores comportamentais e fisiológicos, como níveis hormonais de estresse ou padrões de atividade, proporcionaria uma visão mais abrangente dos efeitos do ambiente sobre a saúde e o bem-estar das orcas. A aplicabilidade da morfometria geométrica em diferentes contextos, como na detecção de estágios reprodutivos em orcas de vida livre (Robinson e Visona-Kelly, 2021), e a necessidade de padronização de metodologias para avaliação da condição corporal em cetáceos (Castrillon; Bengtson Nash, 2020), reforçam o potencial dessa técnica para futuros estudos e para aprimorar as estratégias de conservação e manejo. A expansão da aplicação desta metodologia para outras espécies de cetáceos ou grandes mamíferos marinhos mantidos em cativeiro também seria valiosa para compreender a generalidade dos impactos observados.

6. CONCLUSÃO

Este estudo buscou investigar o impacto do cativeiro na morfologia externa de orcas (*Orcinus orca*) por meio da morfometria geométrica. Os resultados indicam que as orcas mantidas em cativeiro exibem padrões morfológicos distintos de seus equivalentes em vida livre, caracterizados por uma menor integração morfométrica e uma maior ocorrência de correlações negativas entre suas estruturas anatômicas. Tais achados sugerem que o confinamento em ambientes artificiais promove alterações morfológicas significativas, que podem ser interpretadas como adaptações ou compensações a um ambiente restritivo.

Considerando as diferenças morfológicas, torna-se pertinente reexaminar a manutenção de orcas em cativeiro, em virtude das implicações para seu desenvolvimento físico e bem-estar. de orcas em cativeiro, pois as diferenças morfológicas indicam um impacto negativo no seu desenvolvimento físico e bem-estar. A morfometria geométrica, neste contexto, mostrou-se uma ferramenta valiosa para detectar padrões sutis de alterações anatômicas, contribuindo para uma avaliação mais precisa da saúde e do estado dos cetáceos.

Diante do exposto, é fundamental que se priorizem estratégias de conservação *in situ*, que respeitem o comportamento natural e as necessidades complexas das orcas. Para os indivíduos em cativeiro, a implementação de programas robustos de enriquecimento ambiental é crucial para mitigar os efeitos adversos do confinamento. Por fim, este trabalho destaca a importância de fomentar pesquisas futuras que associem dados morfométricos a indicadores comportamentais e fisiológicos de bem-estar, a fim de promover práticas de manejo mais éticas e sustentáveis para essas espécies.

7. REFERÊNCIAS

- AGUIRRE, L. F.; PRADO, J. R. **Morfometria geométrica: fundamentos e aplicações**. [S.l.]: [s.n.], 2018.
- ANDERSON, R.; WAAYERS, R.; KNIGHT, A. **Orca behavior and subsequent aggression associated with oceanarium confinement**. *Animals*, v. 6, p. 49, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani6080049>.
- CASTRILLON, J.; BENGTSON NASH, S. M. **Evaluating cetacean body condition: a review of traditional approaches and new developments**. *Ecology and Evolution*, v. 10, n. 12, p. 6144–6162, 2020. DOI: 10.1002/ece3.6301
- CULIK, B. M.; WURTZ, M. **Odontocetes: as baleias dentadas**. 2011. Disponível em: <http://www.earthprint.com/productfocus.php?id=3957&q=odontocetes>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- DIAS, J. L. C. **Zoológicos e a pesquisa científica**. Biológico, São Paulo, v. 65, n. 1, p. 127–128, 2003.
- DRYDEN, I. L.; MARDIA, K. V. **Statistical Shape Analysis**. Chichester: Wiley, 1998.
- FISCHER, C. P.; ROMERO, L. M. **Chronic captivity stress in wild animals is highly species-specific**. *Conservation Physiology*, v. 7, n. 1, eoz093, 2019. DOI: 10.1093/conphys/coz093
- FORD, J. K. B. **Killer whale: *Orcinus orca***. In: *Encyclopedia of Marine Mammals*. Elsevier, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780123735539001504>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- GINTER, C. C.; DEWITT, T. J.; FISH, F. E.; MARSHALL, C. D. **Fused traditional and geometric morphometrics demonstrate pinniped whisker diversity**. *PLoS ONE*, [S.l.], v. 7, n. 4, e34481, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0034481
- HEYNING, J. E.; DAHLHEIM, M. E. ***Orcinus orca***. *Mammalian Species*, n. 304, p. 1–9, 1988.
- HOWARD, B. C. **SeaWorld to end controversial orca shows and breeding**. *National Geographic*, 17 mar. 2016. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/animals/article/160317-seaworld-orcas-killer-whales-captivity-breeding-shamu-tilikum>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- JACOBS, B.; RALLY, H.; DOYLE, C.; O'BRIEN, L.; TENNISON, M.; MARINO, L. Putative neural consequences of captivity for elephants and cetaceans. *Reviews in the Neurosciences*, v. 32, n. 8, p. 835-862, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1515/revneuro-2021-0100>.
- JETT, J.; VENTRE, J. **Captive killer whale (*Orcinus orca*) survival**. *Marine Mammal Science*, v. 31, n. 4, p. 1362–1377, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/mms.12225>.

KISLING, V. N. (Ed.). **Zoo and Aquarium History: Ancient Animal Collections to Zoological Gardens.** 1. ed. Boca Raton: CRC Press, 2000. 440 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420039245>

KLINGENBERG, C. P. **Morphological integration and developmental modularity.** Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, v. 39, p. 115–132, 2008. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110054

LAWSON, J. W.; STEVENS, T. S. **Historic and current distribution patterns, and minimum abundance of killer whales (*Orcinus orca*) in the north-west Atlantic.** *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 94, n. 6, p. 1253–1265, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315413000846>.

MARINO, Lori et al. **The harmful effects of captivity and chronic stress on the well-being of orcas (*Orcinus orca*).** *Journal of Veterinary Behavior*, v. 35, p. 69–82, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2019.05.005>.

MURPHY, S.; ROGAN, E.; KIELY, O. **Drawing of external morphometric characters measured from the short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*).** 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Drawing-of-external-morphometric-characters-measured-from-the-short-beaked-common-dolphin_fig4_227835795. Acesso em: 20 maio 2024.

OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, R.; CAVALEIRO, A. **Comportamento das orcas e subsequentes agressões associadas ao confinamento no Oceanário.** *Animals*, v. 6, p. 49, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani6080049>.

ROBECK, Todd R. et al. **Reproductive physiology and development of artificial insemination technology in killer whales (*Orcinus orca*).** *Theriogenology*, v. 66, n. 5, p. 1624–1636, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2005.11.007>.

ROBINSON, C. V.; VISONA-KELLY, B. C. **A geometric morphometric approach for detecting different reproductive stages of a free-ranging killer whale *Orcinus orca* population.** *Scientific Reports*, v. 15, art. 3239, 2025. DOI: 10.1038/s41598-025-86793-3

SANDERS, A.; FEIJÓ, A. G. dos S. **Uma reflexão sobre animais selvagens cativos em zoológicos na sociedade atual.** 2007. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biologia) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/7496021/UMA_REFLEXÃO_SOBRE_ANIMAIS_SELVAGENS_CATIVOS_EM_ZOOLÓGICOS. Acesso em: 24 jun. 2025.

SINGER, P. **Against zoos, by Dale Jamieson.** [S.d.]. Disponível em: <http://www.animal-rights-library.com/texts-m/jamieson01.htm>. Acesso em: 10 mar. 2024.

SUÁREZ-ESTEBAN, A.; MIJÁN, I.; SALVADOR MILLA, A. **Orca – *Orcinus orca* (Linnaeus, 1758).** 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281099161_Microsoft_Word_-_Oorcadoc. Acesso em: 16 maio 2024.

UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA. **Cultura vocal e estabilidade social em orcas residentes (*Orcinus orca*)**. 2005. 213 f. Tese (Doutorado em Zoologia) – University of British Columbia, Vancouver, 2005. DOI: <https://doi.org/10.14288/1.0074875>. Acesso em: 24 maio 2024.

VICARI, D. ***Skull ecomorphology of toothed whales: evolutionary patterns and ecological drivers***. 2020. Thesis (Doctor of Philosophy) – Liverpool John Moores University, School of Biological and Environmental Sciences, Liverpool, 2020. Disponível em: <https://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/15232/2/2020VicariPhDpublic.pdf>.

WALLER, R. L.; ILUZADA, C. L. **Blackfish and SeaWorld: a case study in the framing of a crisis**. *International Journal of Business Communication*, v. 57, n. 2, p. 227–243, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1177/2329488419884139>.

ZELDITCH, M. L.; SWIDERSKI, D. L.; SHEETS, H. D. **Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer**. 2. ed. London: Academic Press, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-778460-1.X5000-5>