

Glauce da Silva Guerra

**Análise multivariada da forma de mandíbulas e dentes
como ferramenta para identificação de espécies de
tubarões na costa pernambucana**

Recife

Fevereiro/2020



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**Análise multivariada da forma de mandíbulas e dentes como ferramenta para
identificação de espécies de tubarões na costa pernambucana**

Tese julgada adequada para obtenção
do título de Doutora em Biometria e
Estatística Aplicada, defendida e apro-
vada por unanimidade em 21/02/2020
pela comissão examinadora

**Área de concentração: Biometria e Esta-
tística Aplicada**

Orientador: Dr. Paulo José Duarte
Neto

Coorientador: Dra. Rosangela Paula
Teixeira Lessa

Recife

Fevereiro/2020

G934a Guerra, Glauce da Silva

Análise multivariada da forma de mandíbulas e dentes como ferramenta para identificação de espécies de tubarões na costa pernambucana/ Glauce da Silva Guerra. – Recife, 2020.
110 f.: il.

Orientador: Dr. Paulo José Duarte Neto

Coorientador: Dra. Rosangela Paula Teixeira Lessa

Inclui referências.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada, Recife, 2020.

1. arcadas. 2. tubarão. 3. costa pernambucana. 4. moldes. 5. análise de imagens.
I. Neto, Paulo José Duarte, orient. II. Lessa, Rosangela Paula Teixeira, coorient.
III. Título

CDD 519.5

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

**Análise multivariada da forma de mandíbulas e dentes como ferramenta para
identificação de espécies de tubarões na costa pernambucana**

Glauce da Silva Guerra

Tese julgada adequada para obtenção do título de Doutora em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 21/02/2020 pela comissão examinadora

Banca examinadora:

Dr. Moacyr Cunha filho
Universidade Federal Rural de
Pernambuco

Dra. Rosângela Paula Teixeira Lessa
Universidade Federal Rural de
Pernambuco

Dr. Cristiane Rocha Albuquerque
Universidade Federal Rural de
Pernambuco

Dr. Antonio Samuel Alves da Silva
Universidade Federal Rural de
Pernambuco

Dr. Claudio Augusto Delrieux
Universidade Nacional Del Sur

*Este trabalho é dedicado às meninas
adultas que, quando pequenas, sonharam em
se tornar cientistas.*

Agradecimentos

Agradeço a Deus, pela saúde dada para encarar diariamente os desafios. Sem Ele, não existiria forças para finalizar o curso.

Ao meu orientador Dr. Paulo José Duarte Neto, pela confiança, esforço, apoio, companheirismo e amizade durante a elaboração do trabalho.

A minha coorientadora Dr^a. Rosangela Paula Teixeira Lessa, pelo esforço, ensinamentos passados e disponibilidade para a coorientação desse trabalho.

Aos familiares e amigos que compreensivamente entenderam minha ausência nesse período. Em especial a Râminis pela paciência no dia-a-dia.

Ao prof Dr. Claudio Augusto Delrieux, pela assistência, disponibilidade, apoio e discussões. Ao pessoal da UNS por tudo apoio, suporte, acolhimento e ajuda.

Aos professores do DEINFO pelo compartilhamento dos seus conhecimentos. Aos amigos construídos ao longo dessa árdua jornada sem os quais seria muito difícil a concretização de tal feito.

Ao Departamento de Pesca da Universidade Federal Rural de Pernambuco, pelo suporte Físico e intelectual imprescindível para execução da tese.

À FACEPE, pelo suporte financeiro fornecido ao longo do curso; À CAPES, pelo benefício financeiro do doutorado sanduiche e a UFRPE, pelo suporte físico e financeiro concedido.

”Comece fazendo o que é necessário,
em seguida faça o que é possível,
e em breve você estará fazendo o que é
impossível.”

São Francisco de Assis

Resumo

Os tubarões apresentam baixa resiliência e exigem uma demanda muito grande de energia devido as suas atividades natatórias, conseqüentemente estão sempre em busca de alimento e, embora humanos não estejam incluídos em sua alimentação, incidentes acabam acontecendo. Devido a essas ocorrências na Costa Pernambucana houve a necessidade de identificar as espécies, tendo em vista o grande número de casos relatados sem identificação destas nesta região. Sendo assim, este estudo objetivou identificar, entre as espécies neste relacionadas, diferenças e similaridades de suas arcadas, por meio de moldes e imagens tanto em 2D quanto em 3D. Para isso, arcadas de diversas espécies de tubarões foram obtidas a partir da aquisição da cabeça de exemplares desembarcados pela frota artesanal de Pernambuco e, logo em seguida, foram levadas a laboratório para realização de moldes de argila. Em seguida, os referidos moldes e imagens (2D-3D) foram utilizadas para estudar, individualmente, o contorno da curvatura das mandíbulas superiores e inferiores, bem como a distância interdental marcada nos moldes e obtidas diretamente das arcadas. A partir das fotos feitas com câmera fotográfica, foi possível, além de identificar quais espécies se assemelham e quais se diferenciam, observar onde há maior variação entre as espécies. Em síntese, vemos que o *Carcharhinus limbatus* e *Rhizoprionodon porosus* apresentam semelhança de forma, de largura e de distância ponta a ponta. O contorno da curvatura da mandíbula do *Galeocerdo cuvier* difere de todas as outras. Foi revelado um padrão de proximidade entre o tubarão cabeça-chata (*Carcharhinus leucas*) e o tubarão-tigre (*Galeocerdo cuvier*). A compreensão do padrão da forma das arcadas e mordeduras das espécies de tubarões é um passo inicial e vital no estudo dos incidentes com humanos, pois através desses resultados será possível identificar quais as principais espécies que estão envolvidas nos incidentes e, a partir daí, começar a pensar em propostas de manejo sustentável para as comunidades envolvidas.

Palavras-chave: arcadas; tubarão; costa pernambucana; moldes; análise de imagem; morfometria.

Abstract

Sharks have low resilience and require a very high energy demand due to their swimming activities, so they are always looking for food and although humans are not included in their diet, incidents end up happening. Due to these occurrences in Pernambuco's coast, there was a need to identify the species, given a large number of reported cases without species identification in this region. Thus, this study aimed to identify, among the related species, differences and similarities of their dental arches, using both 2D and 3D templates and images. To do so, dental arches of several shark species were obtained from the acquisition of the head of specimens landed by the artisanal fleet of Pernambuco and, soon after, were taken to the laboratory to make clay templates. Subsequently, these molds and images (2D-3D) were used to study separately the contour of the curvature of the upper and lower mandibles, as well as the interdental distance marked on the templates and obtained directly from the dental arches. From the photos made with a camera, it was possible, not only identifying which species resemble and which differ but also observe where there is a greater variation between species. In summary, we see that *Carcharhinus limbatus* are similar in shape, width, and distance from end to end. The *Galeocerdo curvier* mandible curvature contour differs from all others. A pattern of proximity between the flat-headed shark (*Carcharhinus leucas*) and the tiger shark (*Galeocerdo curvier*) has been revealed. Understanding the pattern of the arcade and bite form of shark species is an initial and vital step in the study of human incidents since through these results it will be possible to identify the main species involved in the incidents and then to start thinking about sustainable management proposals for the communities involved.

Key-words: arcades; shark; Pernambuco's coast; molds; image analysis; morphometry.

Lista de Figuras

Figura 1 – <i>Carcharhinus acronotus</i> (Poey, 1860). Fonte: FAO	6
Figura 2 – <i>Carcharhinus leucas</i> (Müller & Henle, 1839). Fonte: FAO	7
Figura 3 – <i>Carcharhinus limbatus</i> (Müller & Henle, 1839). Fonte: FAO	8
Figura 4 – <i>Galeocerdo cuvier</i> (Péron & Lesueur, 1822). Fonte: FAO	9
Figura 5 – <i>Rhizoprionodon porosus</i> (Poey, 1861). Fonte: FAO	10
Figura 6 – <i>Sphyrna mokarran</i> (Rüppel, 1837) . Fonte: FAO	11
Figura 7 – Exemplo da localização dos cinco <i>landmarks</i> utilizados para traçar o contorno do perfil da mandíbula superior do <i>R. porosus</i> marcado no molde.	23
Figura 8 – Exemplo da medição da largura dos dentes superiores do <i>R. porosus</i> marcado no molde	24
Figura 9 – Exemplo da medição da distância ponta a ponta dos dentes superiores do <i>R. porosus</i> marcado no molde	24
Figura 10 – Exemplo de processo de limpeza de arcada de <i>R. porosus</i> para retirada da arcada.	25
Figura 11 – Exemplo da localização dos cinco <i>landmarks</i> utilizados para traçar o contorno do perfil da mandíbula superior do <i>C. acronotus</i>	26
Figura 12 – Exemplo da medição da largura dos dentes superiores do <i>C. leucas</i> na própria arcada.	27
Figura 13 – Exemplo da medição da altura dos dentes superiores do <i>C. leucas</i> na própria arcada.	28
Figura 14 – Exemplo da medição da distância ponta a ponta dos dentes superiores do <i>C. leucas</i> na própria arcada.	28
Figura 15 – Exemplo do suporte usado para fixar a arcada.	30
Figura 16 – Exemplo dos lasers percorrendo a arcada para digitalização.	30
Figura 17 – Exemplo da captura da foto 2D para texturização	31
Figura 18 – Exemplo da remoção do suporte de fixação da arcada (a) e a arcada digitalizada pelo scanner (b).	31
Figura 19 – Exemplo da localização dos cinco <i>landmarks</i> utilizados para traçar o contorno do perfil da mandíbula superior do <i>G. cuvier</i> , marcado em uma imagem 3D.	32
Figura 20 – Exemplar de molde inferior em massa de modelar: <i>S. lewini</i>	34

Figura 21 – Preparação do molde em alginato: <i>S. lewini</i>	35
Figura 22 – Exemplar de molde inferior em alginato: <i>S. lewini</i>	35
Figura 23 – Exemplar de molde inferior em argila: <i>S. lewini</i>	36
Figura 24 – Exemplar de molde superior em massa de modelar: <i>S. lewini</i>	37
Figura 25 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 <i>landmarks</i> utilizados para traçar a marca do contorno nos moldes das mandíbula superior. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.	38
Figura 26 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2, para os moldes superiores. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.	39
Figura 27 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 <i>landmarks</i> utilizados para traçar a marca do contorno nos moldes das mandíbula inferior. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.	41
Figura 28 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 para os moldes inferiores. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.	42
Figura 29 – Box-plot para a largura dos dentes marcados nos moldes: (a) superior esquerda; (b) superior direita.	44
Figura 30 – Box-plot para a largura dos dentes marcados nos moldes: (a) superior esquerda; (b) superior direita.	46
Figura 31 – Box-plot para a largura dos dentes marcados nos moldes: (a) inferior esquerda; (b) inferior direita.	48
Figura 32 – Box-plot para a distância ponta a ponta dos dentes marcados nos moldes: (a) inferior esquerda; (b) inferior direita.	50
Figura 33 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 <i>landmarks</i> utilizados para traçar a marca do contorno das mandíbula superior – Imagens 2D. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.	55
Figura 34 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 – mandíbula superior – imagem 2D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.	56

Figura 35 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 <i>landmarks</i> utilizados para traçar a marca do contorno das mandíbula inferior – Imagens 2D. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.	58
Figura 36 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 - mandíbula inferior - Imagem 2D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.	59
Figura 37 – Box-plot para a largura dos dentes nas imagens 2D: (a) superior esquerda; (b) superior direita.	61
Figura 38 – Box-plot para a altura dos dentes nas imagens 2D: (a) superior esquerda; (b) superior direita.	63
Figura 39 – Box-plot para a distância entre uma ponta a outra dos dentes nas imagens 2D: (a) superior esquerda; (b) superior direita.	65
Figura 40 – Box-plot para a largura dos dentes nas imagens 2D: (a) inferior esquerda; (b) inferior direita.	67
Figura 41 – Box-plot para a altura dos dentes nas imagens 2D: (a) lado inferior esquerdo; (b) lado inferior direita.	69
Figura 42 – Box-plot para as distâncias entre uma ponta e outra dos dentes nas imagens 2D: (a) lado inferior esquerda; (b) lado inferior direita.	71
Figura 43 – Contorno médio, por espécie, das formas dos dentes superiores utilizando os coeficientes da análise de fourier elíptica para os dentes do lado: (a) esquerdo e; (b) direito	72
Figura 44 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes superiores - lado esquerdo	74
Figura 45 – Comparação da forma dos dentes superiores, extraída do CP1 - lado esquerdo: (a) <i>S. mokarran</i> com <i>C. leucas</i> ; (b) <i>S. mokarran</i> com os do <i>R. porosus</i>	74
Figura 46 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes superiores - lado direito	75
Figura 47 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes superiores - lado esquerdo	76
Figura 48 – Comparação da forma dos dentes superiores, extraída do CP2 - lado esquerdo: (a) <i>C. acronotus</i> com <i>G. cuvier</i> ; (b) <i>C. acronotus</i> com <i>S. mokarran</i> ; (c) <i>C. limbatus</i> com <i>R. porosus</i> ; (d) <i>S. mokarran</i> com <i>G. cuvier</i> .	76
Figura 49 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes superiores - lado direito	77
Figura 50 – Comparação da forma dos dentes superiores, para o CP2 - lado direito: <i>C. acronotus</i> com <i>C. leucas</i>	77
Figura 51 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes superiores - lado esquerdo	78

Figura 52 – Comparação da forma dos dentes superiores, extraída do CP3 - lado esquerdo: (a) <i>C. acronotus</i> com <i>R. porosus</i> ; (b) <i>C. acronotus</i> com <i>S. mokarran</i> ; (c) <i>C. leucas</i> com <i>G. cuvier</i> ; (d) <i>S. mokarran</i> com <i>R. porosus</i>	78
Figura 53 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes superiores - lado direito	79
Figura 54 – Comparação da forma dos dentes superiores, para o CP3 - lado direito: <i>G. cuvier</i> com <i>S. mokarran</i>	79
Figura 55 – Contorno médio da forma do dente inferior, utilizando-se os coeficientes da análise de fourier elíptica para os dentes do lado: (a) esquerdo e; (b) direito	80
Figura 56 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes inferiores - lado esquerdo	81
Figura 57 – Comparação da forma dos dentes inferiores, extraída do CP1 - lado esquerdo: <i>S. mokarran</i> com <i>R. porosus</i>	82
Figura 58 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes inferiores - lado direito	82
Figura 59 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP1 - lado direito: <i>C. acronotus</i> com os do <i>C. leucas</i>	83
Figura 60 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes inferiores - lado esquerdo	84
Figura 61 – Comparação da forma dos dentes inferiores, extraída do CP2 - lado esquerdo: (a) <i>C. acronotus</i> com <i>R. porosus</i> ; (b) <i>C. leucas</i> com <i>C. limbatus</i>	84
Figura 62 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes inferiores - lado direito	85
Figura 63 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP2 - lado direito: <i>C. acronotus</i> com <i>R. porosus</i>	85
Figura 64 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes inferiores - lado esquerdo	86
Figura 65 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP3 - lado esquerdo: (a) <i>C. acronotus</i> com <i>G. cuvier</i> ; (b) <i>C. leucas</i> com <i>R. porosus</i> ; (c) <i>C. limbatus</i> com <i>G. cuvier</i> ; (d) <i>S. mokarran</i> com <i>C. limbatus</i>	87
Figura 66 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes inferiores - lado direito	87
Figura 67 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP3 - lado direito: (a) <i>C. leucas</i> com <i>G. cuvier</i> ; (b) <i>C. leucas</i> com <i>S. mokarran</i> ; (c) <i>C. limbatus</i> com <i>R. porosus</i> ; (d) <i>R. porosus</i> com <i>G. cuvier</i> e; (e) <i>S. mokarran</i> com <i>G. cuvier</i>	88
Figura 68 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 <i>landmarks</i> utilizados para traçar a marca do contorno nas imagens 3D das mandíbula superior. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.	92

- Figura 69 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 - mandíbula superior - imagem 3D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05. 93
- Figura 70 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno nas imagens 3D das mandíbulas inferiores. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica. 95
- Figura 71 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 - mandíbula inferior - Imagem 3D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05. 96
- Figura 72 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno superior nas imagens: (a) 2D, (b) 3D e (c) Moldes. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a primeira variável canônica. 99
- Figura 73 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno inferior nas imagens: (a) 2D, (b) 3D e (c) Moldes. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a primeira variável canônica. 100

Lista de tabelas

Tabela 1 – Lista de espécies de tubarões analisadas no estudo	22
Tabela 2 – Variação entre os grupos nas mandíbulas superiores - Moldes	37
Tabela 3 – Distância de Procrustes para os moldes superiores	39
Tabela 4 – Matriz de classificação para análise discriminante dos moldes superiores (%)	40
Tabela 5 – Variação entre os grupos nas mandíbulas inferiores - Moldes	40
Tabela 6 – Distância de Procrustes para os moldes inferiores	42
Tabela 7 – Matriz de classificação para análise discriminante dos moldes inferiores (%)	43
Tabela 8 – Medidas descritivas da largura dos dentes superiores, por espécie, marcados nos moldes	43
Tabela 9 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes superiores marcados nos moldes	45
Tabela 10 – Medidas descritivas, por espécie, da distância de ponta a ponta dos dentes superiores marcados nos moldes	45
Tabela 11 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi na distância ponta a ponta dos dentes superiores marcados nos moldes	47
Tabela 12 – Medidas descritivas da largura dos dentes inferiores, por espécie, marcados nos moldes	47
Tabela 13 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes inferiores marcados nos moldes	49
Tabela 14 – Medidas descritivas da distância de ponta a ponta dos dentes inferiores, por espécie, marcados nos moldes	50
Tabela 15 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a distância ponta a ponta dos dentes inferiores marcados nos moldes	51
Tabela 16 – Variação entre os grupos - na mandíbula superior - Imagem 2D	54
Tabela 17 – Distância de Procruste para a mandíbula superior - Imagem 2D	56
Tabela 18 – Matriz de classificação para análise discriminante da mandíbula superior (%) - Imagem 2D	57
Tabela 19 – Variação entre os grupos - mandíbula inferior - Imagem 2D.	57
Tabela 20 – Distância de Procruste para a mandíbula inferior - Imagem 2D	59

Tabela 21 – Matriz de classificação para análise discriminante das mandíbulas inferiores (%) - Imagem 2D	60
Tabela 22 – Medidas descritivas, por espécie, da largura dos dentes superiores - Imagem 2D	60
Tabela 23 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes superiores - Imagem 2D	62
Tabela 24 – Medidas descritivas, por espécie, da altura dos dentes superiores - Imagem 2D	62
Tabela 25 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a altura dos dentes superiores - Imagem 2D	64
Tabela 26 – Medidas descritivas, por espécie, da distância ponta a ponta dos dentes superiores - Imagem 2D	64
Tabela 27 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a distância de uma ponta a outra entre os dentes superiores - Imagem 2D	66
Tabela 28 – Medidas descritivas, por espécie, dos dentes inferiores - Imagem 2D	66
Tabela 29 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes inferiores - Imagem 2D	68
Tabela 30 – Medidas descritivas, por espécie, da altura dos dentes inferiores - Imagem 2D	68
Tabela 31 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a altura dos dentes inferiores - Imagem 2D	70
Tabela 32 – Medidas descritivas, por espécie, das distâncias ponta a ponta dos dentes inferiores - Imagem 2D	70
Tabela 33 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para as distâncias de uma ponta a outra de dos dentes inferiores - Imagem 2D	72
Tabela 34 – Componentes principais utilizadas com variância e variância acumulada para os dentes da mandíbula superior: (a) lado esquerdo; (b) lado direito	73
Tabela 35 – Análise de Variância Multivariada para os dentes superior - lado esquerdo e direito	73
Tabela 36 – Componentes principais utilizados com variância e variância acumulada para os dentes da mandíbula superior: (a) lado esquerdo; (b) lado direito	80
Tabela 37 – Análise de variância multivariada para os dentes inferiores - lado esquerdo e direito	81
Tabela 38 – Variação entre os grupos, na mandíbula superior - Imagem 3D	91
Tabela 39 – Distância de Procruste para a mandíbula superior - Imagem 3D	93
Tabela 40 – Matriz de classificação para análise discriminante da mandíbula superior (%) - Imagem 3D	94

Tabela 41 – Variação entre os grupos - mandíbula inferior - Imagem 3D	94
Tabela 42 – Distância de Procruste para a mandíbula inferior - Imagem 3D	96
Tabela 43 – Matriz de classificação para análise discriminante da mandíbulas inferiores (%) - Imagem 3D	97

Sumário

1	Introdução	1
2	Objetivos	4
2.1	Geral	4
2.2	Específicos	4
3	Revisão de Literatura	5
3.1	Tubarões	5
3.2	Espécies Estudadas	6
3.2.1	<i>Carcharhinus acronotus</i> (Poey, 1860)	6
3.2.2	<i>Carcharhinus leucas</i> (Müller and Henle 1839)	7
3.2.3	<i>Carcharhinus limbatus</i> (Müller & Henle, 1839)	8
3.2.4	<i>Galeocerdo cuvier</i> (Péron & Lesueur, 1822)	9
3.2.5	<i>Rhizoprionodon porosus</i> (Poey, 1861)	10
3.2.6	<i>Sphyrna mokarran</i> (Rüppel, 1837)	11
3.3	Análise Morfométrica	12
3.3.1	Landmarks	12
3.3.2	Distância de Procrustes	13
3.3.3	Contorno Fechado	14
3.4	Análise Estatística	15
3.4.1	Análise de Variáveis Canônicas	15
3.4.2	Análise Discriminante	15
3.4.3	Teste de Kolmogorov-Smirnov	16
3.4.4	Teste de Levene	17
3.4.5	Teste Kruskal-Wallis	17
3.4.6	Teste de Nemenyi	19
4	Material e Métodos	21
4.1	Imagens dos Moldes	22
4.1.1	Contorno das mandíbulas	22
4.1.2	Dentes	23
4.2	Imagens 2D	25
4.2.1	Contorno das mandíbulas	26
4.2.2	Dentes	27
4.3	Imagens 3D	29

4.4	Comparação entre fontes de informação	33
5	Resultados - Moldes	34
5.1	Teste com diferentes tipos de materiais	34
5.1.1	Massa de modelar	34
5.1.2	Alginato	35
5.1.3	Argila	36
5.1.4	Definição do material para confecção dos moldes	36
5.2	Contorno das mandíbulas	37
5.2.1	Mandíbula superior	37
5.2.2	Mandíbula inferior	40
5.3	Dentes	43
5.3.1	Mandíbula superior	43
5.3.2	Mandíbula inferior	47
5.4	Considerações	51
6	Resultados - Imagens 2D	54
6.1	Contorno das mandíbulas	54
6.1.1	Mandíbula superior	54
6.1.2	Mandíbula inferior	57
6.2	Dentes - medidas lineares	60
6.2.1	Mandíbula superior	60
6.2.2	Mandíbula inferior	66
6.3	Dentes - contorno fechado	72
6.3.1	Mandíbula superior	72
6.3.2	Mandíbula inferior	79
6.4	Considerações	89
7	Resultados - Imagem 3D	91
7.1	Contorno das mandíbulas	91
7.1.1	Mandíbula superior	91
7.1.2	Mandíbula inferior	94
7.2	Considerações	97
8	Resultados - Comparação entre fontes de informações	99
8.1	Mandíbula superior	99
8.2	Mandíbula inferior	100
9	Conclusão	101
	Referências Bibliográficas	103

1 Introdução

Os tubarões, juntamente com as raias, pertencem à classe dos Chondrichthyes, subclasse Elasmobranchii. Em função de sua posição na cadeia alimentar, conseguem realizar, de forma equilibrada, o controle ecológico de diferentes níveis alimentares em um determinado ecossistema (CAMHI, 1998). Porém, alguns desequilíbrios ambientais estimulam esses animais a procurar outro local com características semelhantes ao que viviam e que possibilite sua adaptação (HAZIN et al., 2008).

Atualmente, o estado de Pernambuco apresenta uma das maiores taxas de incidente do mundo por unidade de área totalizando 65. Boa viagem é a praia com maior registro de incidentes (CEMIT, 2019). Porém, dentre eles, só foi possível a identificação de 10 casos: o tubarão-tigre, *Galeocerdo cuvier*; e o tubarão cabeça-chata, *Carcharhinus leucas*. Estas espécies são consideradas potencialmente agressivas e são frequentemente envolvidas em incidentes em outras regiões do mundo.

Uma característica utilizada para identificar espécies de tubarões, que está relacionada com a estratégia de alimentação, é a forma do dente. No entanto, o seu uso é restrito aos casos em que pelo menos um fragmento de um dente está disponível. Por exemplo, Gadig e Sazima (2003) apresentaram a forma de identificação da espécie de tubarão envolvida em um incidente não fatal com surfista. A vítima apresentava marcas de mordidas em seus membros inferiores. Foi possível observar a mandíbula superior, lado direito, na parte externa da perna, e na parte interna existia marcas da mandíbula inferior. A análise da mordida foi realizada a partir do registro fotográfico. Além das marcas, foi obtido, de modo cirúrgico, um fragmento do dente. Uma vez que o tubarão-tigre possui dentição com formato e serrilhado únicos, elimina qualquer dúvida sobre seu envolvimento neste caso.

Em outro trabalho, Clua e Haguenaer (2019) utilizou características das feridas causadas por mordidas e a análise genética do fragmento do dente da mandíbula inferior deixado na ferida para identificar o tubarão envolvido em um incidente não fatal em janeiro de 2018 na Polinésia Francesa. A vítima apresentava mordidas superficiais da mandíbula superior. Baseado em registros fotográficos, foram calculadas as distâncias interdentaes marcadas na vítima. As espécies *C. amblyrhynchos*, *C. limbatus* e *G. cuvier* foram descartadas por serem caracterizados por cortes mais contínuos e retos. Após a análise do dente foi constatado que eles eram alongados e arredondados. Usando algoritmos

computacionais, esse fragmento foi comparado ao dente do *Negaprion acutidens*. Após a análise da sequência de DNA do dente, foi comprovado que o fragmento do dente é de um *N. acutidens*.

Porém, é sabido que as espécies confirmadas nos incidentes no estado não são as únicas a habitarem o litoral pernambucano. O *Rhizoprionodon porosus* e *Carcharhinus acronotus* ganham destaque na representatividade do desembarque da pesca artesanal local (LESSA et al., 1999). Além dessas, e em menor número, outras espécies também são capturadas: *Carcharhinus falciformis*, *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus limbatus*, *Carcharhinus perezi*, *Galeocerdo cuvier*, *Rhizoprionodon lalandii*, *Ginglymostoma cirratum*, *Aetobatus narinari*, *Sphyrna mokarran*, *Sphyrna lewini*, *Chaetodipterus faber*, *Conodon nobilis*, *Lutjanus analis*, *Lutjanus jocu*, *Megalops atlanticus*, *Pomacanthus paru*, *Epinephelus itajara* (HAZIN; AFONSO, 2014).

Dessa forma, a compreensão do padrão da forma das arcadas e mordeduras das espécies de tubarões é um passo inicial e vital no estudo dos incidentes com humanos, pois, através desses resultados, será possível auxiliar na identificação das espécies encontradas na costa e, a partir daí, começar a pensar em propostas de manejo sustentável para as comunidades. Além desta motivação em relação a identificação de espécies envolvidas em incidentes, os tubarões são um dos mais diversos grupos de predadores existentes, com mais de 500 espécies ocorrendo em todo o mundo. Esta diversidade específica promove, consequentemente, uma enorme variabilidade em termos de comportamento e hábitos alimentares.

Nesse sentido, foi observado na literatura a concentração dos estudos baseando-se na forma dos dentes. Tomando como exemplo, o recente estudo de Marramà e Kriwet (2017) ao fazer uso de técnicas voltadas para a morfometria tradicional com o intuito de apoiar e complementar a identificação taxonômica clássica feitas em características qualitativas extraídas de uma amostra de 175 dentes de tubarões da ordem *lamniformes*. French et al. (2017) ao analisar registro fotográficos de dentes do *Carcharodon carcharias* (tubarão branco) encontrou diferenças significativas nos gêneros. Concluindo que, os machos possuem mudança ontogenética enquanto que as fêmeas não apresentam mudanças morfológicas.

Recentemente, Cullen e Marshall (2019) fez uso da Análise Elíptica de Fourier para medir a morfologia dentária em seis posições distintas da mandíbula superior e inferior das espécies: *Carcharhinus leucas*, *Carcharhinus limbatus* e *Sphyrna tiburo*, com o intuito de estudar diferenças ontogênicas entre e dentre as espécies. Das seis posições, quatro apresentaram diferenças ontogênicas, mais especificamente na parte posterior da mandíbula inferior, onde identificou-se mudança funcional que está diretamente relacionada com a morfologia de cada espécie. O *C. limbatus* não apresentou mudanças ontogênicas

relacionadas à morfologia, apesar da heterodontia ser maior. Nas demais espécies, a maioria difere entre si. Foi comprovada, ainda, a diferença entre todas as espécies em todas as posições, com exceção do *C. leucas* e do *C. limbatus* em duas posições.

Por mais que os estudos estejam focados nos dentes, alguns autores focaram em utilizar informações da mandíbula, como, por exemplo, Lowry et al. (2009) que mostraram o potencial do uso da medida da circunferência e da distância entre dentes para a determinação do tamanho do tubarão a partir da análise de padrões de mordida em superfícies duras e moles. Apesar do potencial para determinação de tamanho, a metodologia apresentada pelos autores é pouco eficiente para identificar espécies.

Duarte-Neto et al. (2019) analisaram características morfométricas bidimensionais das arcadas de espécies de tubarões capturadas no litoral de Pernambuco, sendo 2 espécimes de *Carcharhinus acronotus*, 4 de *Carcharhinus leucas*, 1 de *Carcharhinus limbatus* e 4 de *Galeocerdo cuvier* e 3 de *Sphyrna lewini*. Os autores verificaram que as formas das arcadas diferem significativamente entre as espécies estudadas, sendo que as da espécie *S. lewini* são as que apresentam diferenças mais pronunciadas devido à forma da cabeça desta espécie. Verificaram também que *C. leucas* e *G. cuvier* possuem algumas semelhanças em suas arcadas em relação a mandíbula inferior, o que dificulta a separação destas duas espécies quanto aos incidentes. Mesmo com base em poucos indivíduos amostrados, concluíram que *C. acronotus* e *C. limbatus* não fazem parte das espécies relacionadas aos incidentes. Contudo, as análises não foram conclusivas em relação *S. lewini*.

Apesar do trabalho desenvolvido por estes autores ter sido bastante promissor, ainda se faz necessário diminuir as incertezas quanto a participação destas espécies e acrescentar outras espécies a análise. Por exemplo, *C. leucas* e *G. cuvier* são duas espécies envolvidas em incidentes, porém, uma análise com uma amostra maior, agregada a análise da forma de seus dentes, levando em consideração a forma da marca provocada pelos dentes em superfície mole ou dura, pode aumentar a precisão na identificação específica das espécies envolvidas em incidentes.

Neste sentido, a presente proposta é uma continuidade ao trabalho realizado por Duarte-Neto et al. (2019), efetivando um estudo completo da morfometria das arcadas e dentes das espécies capturadas em Pernambuco, tanto do ponto de vista bidimensional como tridimensional, no intuito de determinar o conjunto de características que: 1) descrevem e diferenciam cada uma das espécies analisadas, relacionando a seus hábitos ecológicos e alimentares; 2) maximizam a eficiência na identificação de espécies de tubarão a partir de seu padrão de mordedura; e 3) podem ser usados para identificar espécies envolvidas em futuros incidentes.

2 Objetivos

2.1 Geral

Prover um amplo estudo morfométrico bi e tridimensional das arcadas e dentes das espécies de tubarão encontradas no litoral de Pernambuco, que permita identificar características morfométricas espécie-específicas que auxiliem na identificação de espécies envolvidas em incidentes com tubarões.

2.2 Específicos

- Determinar o padrão de mordedura das espécies estudadas a partir de experimentos em materiais de diferentes densidades.
- Definir um protocolo para análise de imagens 3D das arcadas e avaliar o potencial de aplicação.
- Determinar diferenças e similaridades entre as espécies a partir da morfometria geométrica das arcadas;
- Determinar diferenças e similaridades entre as espécies a partir da forma dos dentes;

3 Revisão de Literatura

3.1 Tubarões

Os tubarões são peixes cartilaginosos que surgiram há aproximadamente 400 milhões de anos (COOK et al., 1987; COMPAGNO, 2001; CIENA et al., 2016). Juntamente com as raias e quimeras, pertencem à classe dos Chondrichthyes, subclasse Elasmobranchii (Tubarões e raias) e a subclasse Holocephali (quimeras). Marinhos, carnívoros e pelágicos, os tubarões, em quase totalidade, habitam as águas costeiras e oceânicas da superfície ao fundo. De acordo com Weigmann (2016) atualmente existem 509 espécies de tubarões. Do ponto de vista ecológico, desenvolvem um papel vital nos ecossistemas marinhos, devido ao fato de se alimentarem de uma grande variabilidade de presas, desempenhando, assim a função de regulador desses ecossistemas, em especial, tropical e subtropical (GARRICK, 1982; CAMHI, 1998; FERRETTI et al., 2010; HEUPEL et al., 2014; CIENA et al., 2016).

São excelentes nadadores graças à sua estrutura corporal fusiforme, destacando ainda sua hidrodinâmica. Sua pele é muito áspera no sentido cauda-cabeça, devido às escamas placoides que possuem, porém se observada no sentido cabeça-cauda apresenta uma distinta hidrodinâmica. Seus dentes não possuem raízes, desta forma não ficam presas as mandíbulas, daí o mecanismo de compensação é apresentar diversas fileiras de dentes, podendo ser desprendidos fixando-os à vítima (SZPILMAN, 2004). Sua captura é realizada tanto pela pesca dirigida como pela fauna acompanhante. O aumento na captura mundial tem como consequência a valorização de seus subprodutos, tais como: couro, cartilagem para uso farmacêutico e dentes usados em artesanato (MATHIESEN, 2015).

A importância dos tubarões, no entanto, é mais acentuada sob o ponto de vista trófico, visto que, consumindo grande espectro de organismos, a maioria das espécies ocupa posição de destaque na cadeia alimentar dos ecossistemas marinhos, sobretudo daqueles de regiões tropicais e subtropicais (MUSICK et al., 2000).

3.2 Espécies Estudadas

3.2.1 *Carcharhinus acronotus* (Poey, 1860)

O *Carcharhinus acronotus* faz parte da família Carcharhinidae, ordem Carcharhini-formes. São popularmente conhecidos como flamengo (BESTER, 2004).

A base de sua alimentação é composta por peixes teleósteos. Com hábitos solitários ou em alguns casos, pequenos grupos com discriminação de tamanho e sexual (FISCHER et al., 2009; GOMES et al., 2010; SZPILMAN, 2004). Seus dentes superiores são estreitos e serrilhados com ponta oblíqua, além de apresentar um corte ao longo da base. Sua fórmula dentária é: 12 ou 13-1 ou 2-12 ou 13/ 12-1-11 ou 12 (GARRICK, 1982).

Devido ao ciclo reprodutivo, acontecem os movimentos migratórios nos meses de maio e setembro, o que justifica sua maior incidência na costa do nordeste (FISCHER et al., 2009). De acordo com Hazin et al. (2002), os estoques são separados da espécie pelo fato do período entre a ovulação e o parto (6 meses) ser curto. Existem registros no Brasil desde norte do Rio de Janeiro até o Rio Grande do sul, e nas regiões Norte e Nordeste. Além de registros de captura a 80 metros de profundidade no Amapá e 100 metros de profundidade na costa Central (GADIG, 2001).

As águas do litoral pernambucano são propícias para o desenvolvimento de recém-nascidos e juvenis, até atingirem a idade de maturação, momento no qual migram para águas mais profundas (BARRETO et al., 2011).

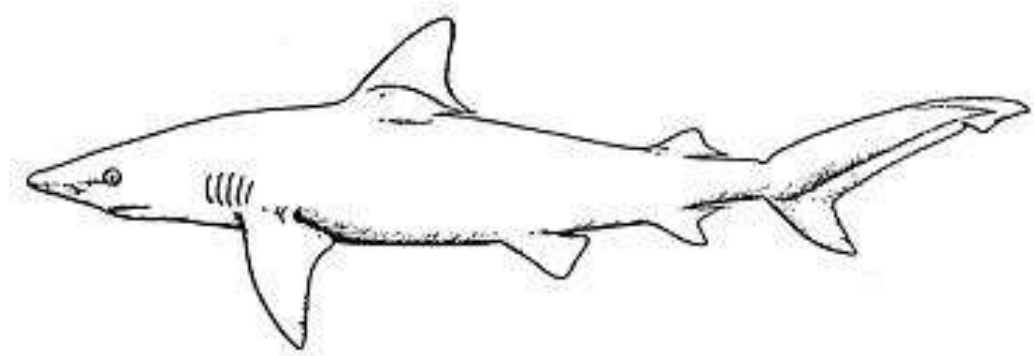


Figura 1 – *Carcharhinus acronotus* (Poey, 1860). Fonte: FAO

3.2.2 *Carcharhinus leucas* (Müller and Henle 1839)

O *Carcharhinus leucas* faz parte da família Carcharhinidae, ordem Carcharhiniformes (NAYLOR et al., 2005). No Brasil, é conhecido popularmente como tubarão touro e tubarão cabeça-chata (SZPILMAN, 2004; QUEIROZ; REBOUÇAS, 1995). Apresenta hábitos costeiros nos mares tropicais e subtropicais, raramente são encontrados ao longo de cursos fluviais (COMPAGNO, 1984).

Sua alimentação é bastante diversificada, variando entre espécies betônicas e demersais de teleosteos, raia, além de tartarugas, aves marinhas, moluscos, crustáceos, aves e mamíferos marinhos (SNELSON et al., 1984; CLIFF; DUDLEY, 1991). Seus dentes superiores são largos, triangulares, sem cúspide, com destaque na base e com fortes serrilhas na base, que diminuem gradativamente até o topo. Sua fórmula dentária é $(13-1-13)/(12-1-12)$ (GARRICK, 1982). A força da mandíbula varia ao longo do desenvolvimento do indivíduo, apresentando maior desempenho predatório durante a fase adulta. O cabeça-chata possui maior força massa-específica quando comparado ao tubarão branco ou o tubarão martelo (HABEGGER et al., 2012).

No Brasil, sua presença foi registrada do litoral do Pará até o litoral de Santa Catarina (AMORIM et al., 1998; MAZZOLENI; SCHWINGEL, 1999); no rio Amazonas (THORSON, 1971), na lagoa Cananéia em São Paulo (SADOWSKY, 1971), em Abrolhos, no sul da Bahia (BORNATOWSKI et al., 2012).

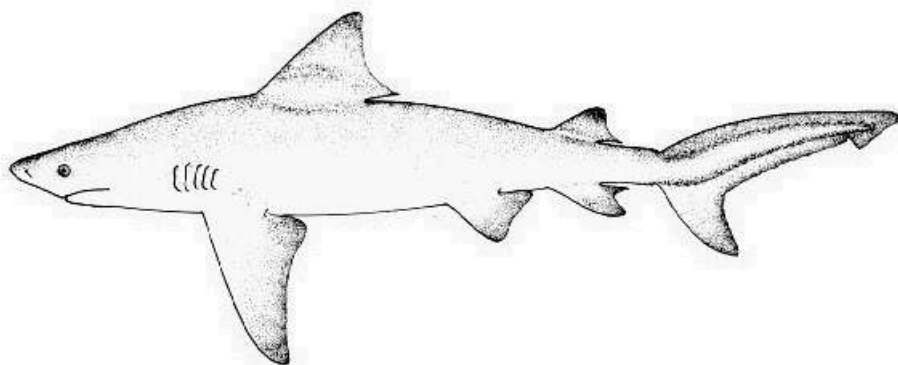


Figura 2 – *Carcharhinus leucas* (Müller & Henle, 1839). Fonte: FAO

3.2.3 *Carcharhinus limbatus* (Müller & Henle, 1839)

O *Carcharhinus limbatus* faz parte da família Carcharhinidae, ordem Carcharhiniformes. No Brasil, é conhecido popularmente como tubarão galha-preta, sucuri-da-galha-preta, salteador e corta-garoupa (GADIG, 2001). É uma espécie comumente encontrada em águas mornas temperadas, subtropicais e tropicais (GARRICK, 1982; COMPAGNO, 1984; LAST; STEVENS, 1994). Pode ser facilmente encontrado nas águas próximas das praias, estuários, baías ou recifes de corais (BIGELOW; SCHROEDER, 1948).

Uma das características do *C. limbatus* é sua rapidez na natação permitindo que ele projete seu corpo para fora da água, podendo girar até três vezes em torno do seu eixo antes de voltar para o mar, geralmente de costas na água. Conjectura-se que esse comportamento é justificado pelo fato de se alimentarem de cardumes, dessa forma se projetam verticalmente, girando e inclinando-se em todas as direções (COMPAGNO, 1984). Seus dentes superiores são caracterizados pela base larga com ponta serrilhada e afiada, enquanto que os inferiores são mais eretos e levemente oblíquos (GADIG, 2001). A fórmula dentária do tubarão galha preta é dada por: 14 ou 15 - 1 a 3 - 14 o 15/ 13 a 15 - 1 ou 2 - 13 a 15 (BIGELOW; SCHROEDER, 1948).

Existem registros no Brasil ao longo de toda a costa, destacando-se a costa Sudeste e Sul, uma vez que as fêmeas se deslocam até as praias para parir seus filhotes no período do verão, favorecendo a pesca artesanal (GADIG, 2001).

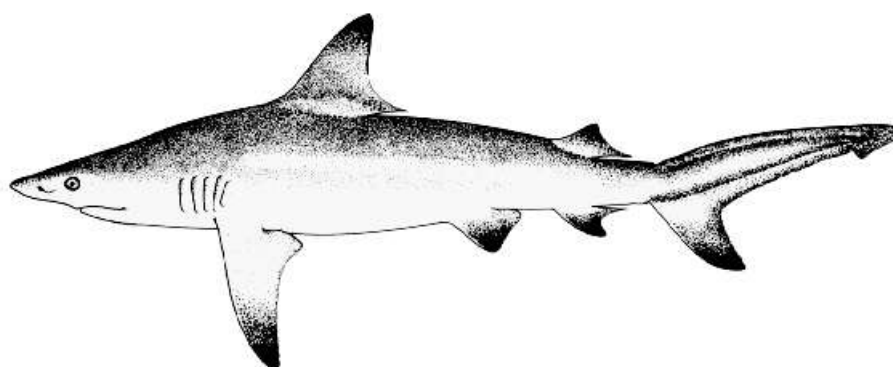


Figura 3 – *Carcharhinus limbatus* (Müller & Henle, 1839). Fonte: FAO

3.2.4 *Galeocerdo cuvier* (Péron & Lesueur, 1822)

O *Galeocerdo cuvier* faz parte da família Carcharhinidae, ordem Carcharhiniformes. No Brasil, é conhecido popularmente como Tubarão-tigre (GADIG, 2001), devido à suas listras verticais semelhantes às dos tigres (COMPAGNO et al., 1989). Se destaca por ser o único na família com reprodução vivípara lecitotrófica (GADIG, 2001). De acordo com Simpfendorfer (2016) e com o ICMBio (2016), essa espécie é classificada como quase ameaçada de extinção.

Os tubarões desta espécie vivem predominantemente em águas salgadas, porém, eventualmente, podem adentrar outras áreas - por exemplo, a foz de um rio - de acordo com a disponibilidade de alimentos (HEITHAUS, 2001). É possível encontrá-los nos oceanos na faixa tropical ou subtropical. Os indivíduos juvenis optam por águas rasas, o que facilita a sua captura, enquanto que os adultos dão preferência às águas mais profundas (RANDALL, 1992; SIMPFENDORFER, 1992; GADIG, 2001). São conhecidos por possuírem hábitos de caça noturno e individual (COMPAGNO; NIEM, 1998). Sua alimentação inclui outros tubarões menores, crustáceos, lulas, tartarugas, peixes e focas (COMPAGNO; NIEM, 1998). Em ambientes com alta concentração de poluentes, eventualmente, ocorre a ingestão de latas, pedaços de metais, sendo conhecido vulgarmente como "comedor de lixo" (SMITH, 1997).

Seus dentes superiores e inferiores não se diferenciam tanto ao longo da arcada, são serrilhados, largos com ponta curva e oblíqua semelhante ao formato de gancho (GADIG, 2001; GRACE, 2001). Sua fórmula dentária é 9 a 11 – 1 – 9 a 12 / 9 a 12 – 1 – 9 a 12 (BIGELOW; SCHROEDER, 1948).

No Brasil, sua presença foi registrada ao longo de toda a costa, destacando-se o litoral das regiões Norte e Nordeste (GADIG, 2001).

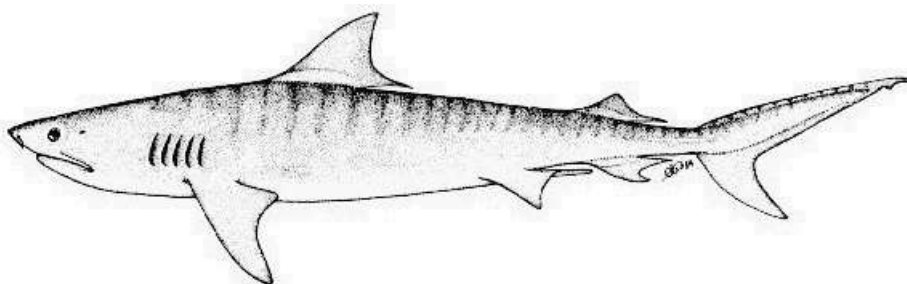


Figura 4 – *Galeocerdo cuvier* (Péron & Lesueur, 1822). Fonte: FAO

3.2.5 *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861)

O *Rhizoprionodon porosus* faz parte da família Carcharhinidae, ordem Carcharhiformes. No Brasil, é popularmente conhecido como Cação-frango, rabo-seco, pintadinho (GADIG, 2001). Estes animais são facilmente encontrados em águas tropicais ou subtropicais, em consequência de seus hábitos costeiros (NELSON, 1990). Sua distribuição corresponde as águas do Caribe até o Uruguai. Em relação à profundidade em que são encontrados, existe variação de acordo com a região: nas tropicais, têm preferência pelas águas rasas; já nas temperadas são mais comumente encontrados em águas de profundidade moderada (COMPAGNO, 1984; MATTOS; PEREIRA, 2002).

Sua alimentação é baseada em lulas, peixes ósseos de pequeno porte e camarões. Apresentam dentes superiores com ponta oblíqua, destacadas da base e com bordas finamente serrilhadas em adultos, com forte chanfradura na borda comissural (GADIG, 2001). Sua fórmula dental: 11 a 13 – 11 a 13 / 12 – 12 (SPRINGER, 1964).

No Brasil, sua presença foi registrada ao longo de toda a costa, destacando-se o nordeste. Existem registros em Cananéia, Itanhaém, ambas no litoral sul de São Paulo e no Maranhão (GADIG, 2001). É importante frisar que existe uma espécie, *R. terraenovae* que se confunde facilmente com o *R. porosus* na morfologia externa, padrão de coloração e tamanho máximo. Entretanto, a diferenciação visual não é simples, uma vez que eles diferem apenas na contagem de vértebras pré-caudais (GADIG, 2001).

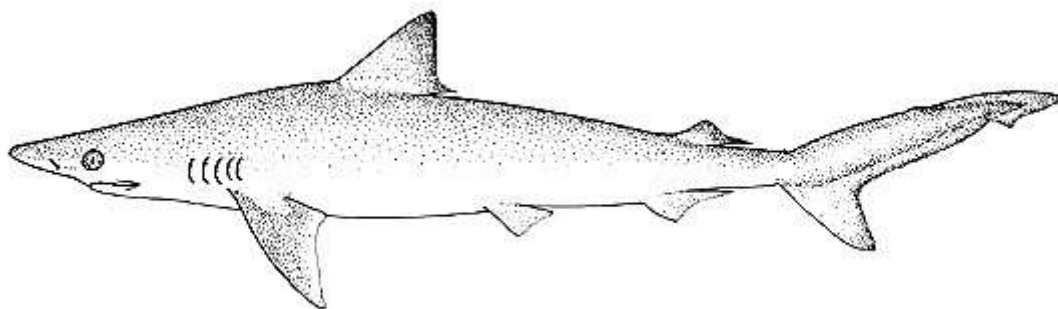


Figura 5 – *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861). Fonte: FAO

3.2.6 *Sphyrna mokarran* (Rüppel, 1837)

O *Sphyrna mokarran* faz parte da família Sphyrnidae, ordem Carcharhiniformes. No Brasil, é popularmente conhecido como tubarão-martelo, cação-martelo, panan-tintureira, cambeva (GADIG, 2001). É um animal de grande porte (COMPAGNO et al., 1989). Com hábitos solitários (CALICH, 2016), ocorre em todos os oceanos, referencialmente em águas com temperaturas que variam de 17 a 31 °C (HAMMERSCHLAG et al., 2011; VAUDO; HEITHAUS, 2009) e salinidade variando entre 33 e 34 partes por mil (PARKER; BAILEY, 1979).

Sua captura é feita por meio de linha e anzol, espinheis, redes de arrasto no fundo, entre outras, basicamente nas águas costeiras e oceânicas (DENHAM et al., 2011). Sua alimentação é composta basicamente por peixes ósseos, elasmobrânquios, crustáceos, moluscos, pepinos do mar, tartarugas marinhas e carcaças (MADDALENA et al., 2015). Seus dentes superiores são um pouco mais largos que os inferiores, porém ambos são serrilhados independente da idade do indivíduo e apresentam ponta oblíqua (GADIG, 2001). Sua fórmula dentária é: 17-2 ou 3-17 / 17-1-17 (MADDALENA et al., 2015).

No Brasil, há registro ao longo de toda a costa. Sendo mais comum na região Norte e Nordeste. Mesmo sendo poucos os registros, existem na costa Central, Sul e Sudeste (GADIG, 2001; GOMES et al., 2010).

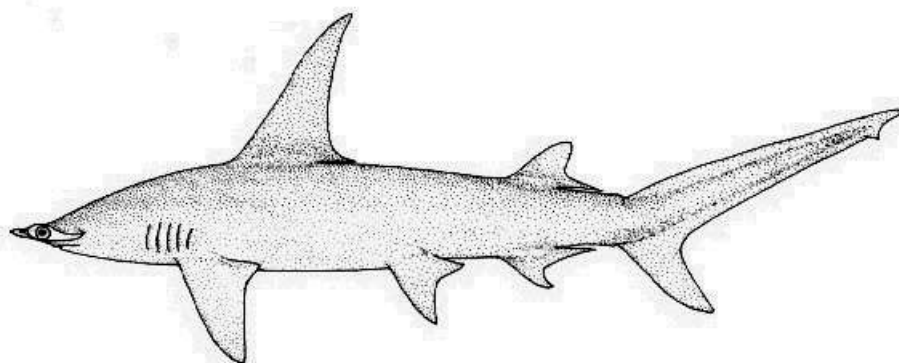


Figura 6 – *Sphyrna mokarran* (Rüppel, 1837) . Fonte: FAO

3.3 Análise Morfométrica

De acordo com Kardong et al. (2006) o significado de morfometria é o estudo das formas orgânicas. Porém, esse termo só foi proposto por Blackith (1965) fazendo referência aos estudos que conseguiam investigar de maneira quantitativa a variação na forma associada ao tamanho (MARCUS et al., 1996; MONTEIRO; REIS, 1999). Com o passar dos anos, devido ao desenvolvimento computacional, a morfologia passa a ter como fundamentação técnicas multivariadas (BLACKITH et al., 1971).

Neste contexto, a morfometria só foi definida por Bookstein (1991) como uma técnica que não visa apenas a quantificação de formas, mas também as variações que a elas são aplicadas e as modificam (MONTEIRO; REIS, 1999). A morfometria clássica, também chamada de linear, é um conjunto de técnicas estatísticas, multivariadas, que estudam as medidas (comprimento, proporções, larguras, entre outras) mensuradas em estruturas (ROHLF; MARCUS, 1993). Além da clássica, tem-se a geométrica, como um agrupamento de procedimentos para a obtenção, o processamento e análise dos dados, preservando, ainda, todas as informações geométricas que podem ser obtidas (SLICE, 2007).

Monteiro e Reis (1999) resumem a morfometria geométrica em uma expressão de fácil entendimento:

$$FORMATO = FORMA + TAMANHO \quad (3.1)$$

A forma pode ser expressa de diferentes modos, a depender do objeto de estudo. Nesse trabalho serão abordadas duas representações: aberto para o contorno das mandíbulas e fechado para o contorno dos dentes, respectivamente.

3.3.1 Landmarks

Uma das possíveis representações da forma se dá por meio dos *marcos anatômicos* ou *landmarks*, que são coordenadas bi ou tridimensionais mensuradas a partir de uma origem, previamente determinada, que preservam as informações geométricas do conjunto de pontos obtidos (ROHLF, 1990; ROHLF; MARCUS, 1993; MONTEIRO; REIS, 1999).

Para obter os *landmarks*, geralmente são utilizadas câmeras digitais (coordenadas x, y) e scanners (coordenadas x, y, z). Existe uma série de procedimentos a serem realizados a fim de minimizar a variabilidade fora do processo biológico investigado. Entre eles destacam-se: 1) a padronização da distância focal entre a câmera e o objeto; 2) a presença de uma escala para permitir a transformação dos pixels em unidades métricas e; 3) iluminação adequada.

Um dos pré-requisitos básicos da morfometria exige que os *landmarks* sejam homólogos (MONTEIRO; REIS, 1999). Após a determinação das coordenadas é necessário realizar a sobreposição das mesmas para retirar os seguintes efeitos: translação, proporcionalização e rotação (BOOKSTEIN, 1991). Entre as diversas técnicas de sobreposição, frisamos a Análise Generalizada de Procrustes, levando os centroides para a origem (ADAMS et al., 2004).

Após a sobreposição, é possível observar a diferença entre as formas através da deformação de placas finas, *thin-plate splines*, uma vez que elas permitem desenhar uma grade de forma sobre outra (FORNEL; CORDEIRO-ESTRELA, 2012). Vale salientar ainda que, não existem restrições quanto ao tamanho da amostra, porém, Monteiro e Reis (1999) sugerem que o tamanho da amostra seja no mínimo quatro vezes maior que a quantidade de landmarks por indivíduo.

3.3.2 Distância de Procrustes

O termo Procrustes é assim chamado em alusão a Procuste da mitologia grega, conhecido por fazer ajustes do tamanho das suas vítimas a uma cama de ferro, se a vítima fosse menor do que a cama ela seria esticada, caso fosse maior seus membros seriam amputados. A análise de Procrustes produz um espaço, não Euclidiano, curvo denominado de "espaço de forma de Kendall" ((KENDALL, 1984; DRYDEN; MARDIA, 1998; ROHLF, 1990; MONTEIRO et al., 2000)) com dimensões $k-4$ e $k-7$ para dados bi e tridimensionais, respectivamente, no qual k corresponde a quantidade de *landmarks* utilizados e m corresponde a dimensionalidade dos dados.

O espaço de Kendall se caracteriza por representar os objetos por pontos. A distância entre os pontos é mensurada por meio da distância de Procrustes, isto é, a métrica comumente utilizada para medir a distância entre duas formas. Nesse sentido, vale frisar que as análises estatísticas multivariadas não podem ser executadas dentro do espaço de Kendall, sendo necessário fazer uma aproximação do espaço de forma por meio de projeção no espaço tangente ao euclidiano, só assim é possível realizar as análises estatísticas lineares (ROHLF, 1990).

Dessa forma, as distâncias de Procrustes geralmente são consideradas como mínimos sobre todas as possíveis sobreposição das formas, podendo ser calculadas pela fórmula de Kendall que busca uma transformação linear em uma forma que busque encontrar a melhor correspondência entre as formas (KENDALL, 1984). Deve-se, então, pensar na distância de Procrustes como métrica utilizada para encontrar o grau de similaridade entre duas formas. Variando entre 0 e 1, de modo que quando essa medição é mais próxima de zero significa dizer que as formas são mais similares entre si (DRYDEN; MARDIA, 1998).

3.3.3 Contorno Fechado

A Análise de Fourier Elíptica, corresponde a representação de uma função paramétrica, para um contorno fechado, respeitando as coordenadas bidimensionais, x e y , ao longo de um tempo t (KUHL; GIARDINA, 1982). Essa técnica oferece descritores invariantes a tamanho, rotação e translação, garantindo a conservação das informações com relação a forma (DIAZ et al., 1997). As funções paramétricas são descritas por $x(t)$ e $y(t)$ como:

$$x(t) = A_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cos(nt) + \sum_{n=1}^N b_n \sin(nt) \quad (3.2)$$

e

$$y(t) = C_0 + \sum_{n=1}^N c_n \cos(nt) + \sum_{n=1}^N d_n \sin(nt) \quad (3.3)$$

note que a_n, b_n, c_n, d_n são os coeficientes, ou também as amplitudes, da harmônica n ; N é igual ao número máximo de harmônicas (LESTREL, 1997; MONTEIRO; REIS, 1999).

Dessa forma, podemos escrever os coeficientes de Fourier para

1. a projeção de x :

$$a_n = \frac{1}{n^2\pi} \sum_{p=1}^q \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} [\cos(nt_p) - \cos(nt_p - 1)] \quad (3.4)$$

$$b_n = \frac{1}{n^2\pi} \sum_{p=1}^q \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} [\sin(nt_p) - \sin(nt_p - 1)] \quad (3.5)$$

2. a projeção de y :

$$c_n = \frac{1}{n^2\pi} \sum_{p=1}^q \frac{\Delta y_p}{\Delta t_p} [\cos(nt_p) - \cos(nt_p - 1)] \quad (3.6)$$

$$d_n = \frac{1}{n^2\pi} \sum_{p=1}^q \frac{\Delta y_p}{\Delta t_p} [\sin(nt_p) - \sin(nt_p - 1)] \quad (3.7)$$

em que:

- p é o total de pontos;
- t_p corresponde a distância entre os pontos p e $p + 1$;
- x_p e y_p correspondem as projeções do segmento de p a $p + 1$.

3.4 Análise Estatística

3.4.1 Análise de Variáveis Canônicas

A análise de variáveis canônicas (AVC) é uma técnica multivariada que tem por objetivo avaliar o grau de semelhança entre indivíduos, baseando-se na matriz de variância e covariância (CRUZ; REGAZZI, 1994). Ela facilita a visualização da diferença entre as populações, por meio da redução da dimensão das variáveis. Mesmo com essa redução, existe a preservação das informações biológicas (CAMUSSI et al., 1985).

Um dos pressupostos básicos da análise se dá pela transformação das variáveis em variáveis padronizadas não correlacionadas, visando solucionar o problema de diferentes escalas nos objetos, de modo que a matriz de dispersão residual coincida com a matriz identidade. Essa transformação se dá pelo processo de condensação pivotal (RAO, 1952; CRUZ; REGAZZI, 1994; JOHNSON et al., 2002; CHATFIELD, 2018).

De forma precisa, a AVC consiste em transformar um conjunto de p variáveis $X_1, X_2, \dots, X_p$, pertencentes a n amostras em um novo conjunto de variáveis $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$, as quais sejam função linear das X 's e independentes entre si. É importante lembrar que o número de variáveis canônicas obtidas, isto é, $Y_1, Y_2, \dots, Y_p$ é igual ao número de variáveis originais.

3.4.2 Análise Discriminante

A análise da função discriminante (AFD) é uma técnica multivariada de previsão e classificação partindo de funções discriminantes (TIMM, 2002), que nada mais são que combinações lineares das variáveis. Tem como objetivos: identificar as variáveis que melhor separam e classificam os grupos; propor funções discriminantes, baseadas nas variáveis já selecionadas e; utilizar as funções discriminantes propostas para a classificação dos grupos (FÁVERO et al., 2009).

Enquanto a AVC se limita a separação dos dados em dois grupos, a AFD permite a classificação de mais de dois grupos, porém a análise é feita dois a dois. A classificação é feita por meio de um conjunto de regras que serão usadas para alocar novos objetos, sendo necessário conhecer os grupos a priori (JOHNSON et al., 2002).

De acordo com (FISHER, 1936) a classificação entre dois ou mais grupos se dá por funções matemáticas que discriminam um determinado indivíduo X em uma de várias populações π_i . Essas funções são baseadas em p características, que minimizam a probabilidade de classificação no grupo errado, isto é, classificar o indivíduo na população π_i quando na verdade ele pertence a população π_j (REGAZZI, 2002).

É importante destacar que existe uma relação direta entre o tamanho da amostra e a quantidade de *landmarks*, isto é, se a amostra for pequena em comparação aos *landmarks*, a função discriminante pode superestimar a separação entre os grupos, tornando a classificação ineficaz. Desse modo, a confiabilidade da discriminação pode ser verificada pela validação cruzada de exclusão única (LACHENBRUCH, 1967).

Além da validação cruzada é realizado um teste T^2 de Hotelling para diferença de médias entre grupos, incluindo teste de permutação, baseado na distância de Procrustes e a estatística do teste T^2 de Hotelling.

3.4.3 Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de Kolmogorov-Smirnov tem como objetivo verificar a igualdade de distribuições de probabilidade. O teste se dá ao observar a diferença absoluta entre a distribuição normal e a distribuição empírica dos dados.

A função de distribuição acumulada assumida para os dados é definida por:

$$F(X_i) = P(X \geq x_{(i)}) \quad (3.8)$$

Enquanto que a função de distribuição empírica dos dados é definida por:

$$F_n(X) = \frac{1}{n} \sum i = 1nI_{-\infty,x}(X_i) \quad (3.9)$$

em que $I_{-\infty,x}(X_i)$ é a função indicadora.

A estatística do teste é dada por :

$$D_n = \sup_x |F(x) - F_n(x)| \quad (3.10)$$

em que:

- $F(X)$ corresponde a função de distribuição acumulada assumida para os dados (normal);
- $F_n(X)$ corresponde a função de distribuição acumulada empírica dos dados

A hipótese nula é $H_0 : F_x = F$ versus a alternativa $H_1 : F_x \neq F$. Rejeita-se a hipótese nula com $(1 - \alpha)100\%$ de confiança se D_n é maior que o valor crítico.

3.4.4 Teste de Levene

O teste de Levene (LEVENE, 1960) é usado para testar a homogeneidade de variância de k amostras. O teste de Levene tem como hipóteses:

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$$

$$H_1 : \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \text{ por pelo menos um par } (i, j)$$

Seja os os desvios absolutos das variáveis X_{ij} com relação às médias amostrais dos grupos indicado por: $X_{i.} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n_i} X_{ij}$ por $Z_{ij} = |X_{ij} - \bar{X}_i|$, $j = 1, \dots, n_i$, $i = 1, \dots, k$ de forma que a estatística do teste é dada por:

$$W_0 = \left(\frac{n-k}{k-1} \right) \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{Z}_{i.} - \bar{Z}_{..})^2}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{Z}_{ij} - \bar{Z}_{i.})^2} \quad (3.11)$$

em que:

- $\bar{Z}_{i.} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} Z_{ij}$
- $\bar{Z}_{..} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k n_i \bar{Z}_{i.}$
- $n = \sum_{i=1}^k n_i$

Deve-se rejeitar a hipótese nula se $W_0 > F_{(k-1, n-k), (n-k)}; F_{(k-1, n-k), (n-k)}$ que representa o quantil de ordem $1 - \alpha$ da distribuição $F_{(k-1, n-k)}$ com nível de significância de α .

3.4.5 Teste Kruskal-Wallis

O teste de Kruskal-Wallis é um teste não paramétrico introduzido por Kruskal e Wallis (1952). É comumente utilizado a fim de comparar três ou mais populações. Na hipótese nula todas as populações possuem a mesma função de distribuição contra a hipótese de que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes. De acordo com Campos (1983) ele pode ser entendido como uma alternativa para o teste paramétrico da Análise de Variância - ANOVA. É importante notar diferentemente do teste t , que verifica a igualdade das médias, o teste de Kruskal-Wallis, verifica a igualdade das medianas.

Esse teste compara as respostas do tratamento na forma de posto, isto é, quanto maior for a diferença entre a soma dos postos, maior será a evidência de que exista diferença entre eles. É importante salientar que uma exigência do teste para execução é que a distribuição dos erros seja a mesma em ambos os níveis. Porém, o problema do

teste consiste em determinar se tais diferenças entre os grupos são causadas apenas por variações casuais que são esperadas entre as amostras.

A Estatística de teste é dada por:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (3.12)$$

em que

- k corresponde ao número de amostras;
- n_j corresponde ao número de casos na amostra j ;
- $N = \sum n_j$ corresponde ao número em todas as amostras combinadas;
- R_j corresponde a soma de postos na amostra j .

No teste de Kruskal-Wallis, cada uma das N observações é substituída por um posto. Isto é, todos os escores de todas as k amostras combinadas são dispostos em uma única série de postos, do menor escore ao maior de posto N . Em seguida, determina a soma dos postos em cada amostra. Nesse intuito, é determinado se tais somas são tão diferentes de tal forma que seja improvável que tais amostras tenham sido extraídas da mesma população. Se as k amostras provêm de uma mesma população ou ainda de populações semelhantes, então a hipótese nula possui distribuição χ^2 com $k - 1$ graus de liberdade.

É importante salientar que o teste considera um número moderado de empates de posto, para esses casos a sugestão é que seja atribuída a cada um deles a média dos respectivos postos. Como o valor da estatística do teste é influenciada pela quantidade de empatas, é sugerida uma correção para a estatística dada na Equação 3.12

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum T}{N^3 - N}} \quad (3.13)$$

em que

- $T = t^3 - t$, em que t corresponde ao número de observações empatadas em um grupo de escores empatados;
- N corresponde ao número de observações em que todas as k amostras conjuntamente, isto é, $N = \sum n_j$ e;
- $\sum T$ corresponde ao somatório sobre todos os grupos de empate.

3.4.6 Teste de Nemenyi

É um teste do tipo "post-hoc", que é feita uma comparação múltipla com o erro padrão ajustado para amostras desiguais, realizado após detecção de diferença entre grupos, por meio de um teste não paramétrico. Sua ideia consiste em testar os grupos dois a dois, visando identificar os grupos que diferem entre si (NEMENYI, 1962; ZAR, 1999).

Seja y_{ij} $i = (1, \dots, k); j = (1, \dots, n_i)$ k amostras independentes de tamanho n_i de observações independentes com $N = \sum_{i=1}^k n_i$, y_{ij} tem densidades dadas por :

em que

- $i = 1, \dots, k;$
- $j = 1, \dots, n;$
- $p(x)$ é uma densidade fixada e desconhecida com p arbitrário;
- θ'_i s não são unicamente definidos;
- $\theta_i - \theta'_i$ s são unicamente definidos;

A hipótese considerada é:

$$H_0 : \theta_i = \theta'_i, \quad \forall i, i' \quad i \neq i' \quad (3.14)$$

versus

$$H_1 : \theta_i \neq \theta'_i, \quad \forall i, i' \quad (3.15)$$

Os postos das N observações ordenadas de acordo com o tamanho $y_{(1)}, \dots, y_{(N)}$, são tomados assinalando 1 para $y_{(1)}$, 2 para $y_{(2)}$ e assim em diante.

Seja R_{ij} o posto de Y_{ij} com as médias dos postos populacionais e geral, respectivamente como:

$$\bar{R}_{i.} = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} R_{ij} \quad i = 1, \dots, k \quad (3.16)$$

o teste rejeita H_0 quando:

$$H_{k-1} \geq h_{k-1}^\alpha \quad (3.17)$$

em que:

$$H_{k-1} = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k n_i \bar{R}_i^2 - 3(N+1) \quad (3.18)$$

Para N grande h_{k-1}^2 segue uma distribuição χ_{k-1}^2 , para N pequeno existem tabelas que aparecem em Hollander e Wolfe (1973).

4 Material e Métodos

Os materiais utilizados derivam de três grupos distintos de imagens: moldes, 2D e 3D. O tamanho amostral é diferente nos três casos, visto que, os moldes foram confeccionados apenas para os indivíduos que foram coletados após o início desse projeto. Já para as imagens bi e tridimensionais, foram considerados os exemplares coletados após o início do projeto e os exemplares pertencentes ao Laboratório de Dinâmica de Populações Marinhas da Universidade Federal Rural de Pernambuco - DIMAR/UFRPE. É importante destacar, que nem todas as arcadas disponíveis e utilizadas nas imagens 2D foram escaneadas para obter as imagens 3D por limitações computacionais.

Dessa forma, a base de dados para a análise, tendo o molde como fonte de informação, foi composta por 16 moldes de argila de 5 espécies de tubarão, sendo: 5 moldes da espécie *C. acronotus*, 3 da *C. limbatus*, 1 do *G. cuvier*, 5 do *R. porosus* e 2 do *S. mokarran*.

Para compor a amostra utilizada em toda a análise 2D, foram consideradas 31 arcadas de tubarões de 6 espécies, sendo: 7 do *C. acronotus*, 4 *C. leucas*, 4 *C. limbatus*, 7 *G. cuvier*, 7 *R. porosus* e 2 *S. mokarran*.

Para a base de dados em que a análise foi desenvolvida baseada nas imagens 3D, foram consideradas 24 arcadas de 6 espécies de tubarão, sendo: 5 do *C. acronotus*, 3 *C. leucas*, 4 *C. limbatus*, 5 *G. cuvier*, 5 *R. porosus* e 2 *S. mokarran*.

Visando comparar as metodologias de acordo com a fonte de informação (imagens dos moldes, 2D e 3D) foram consideradas 2 espécies, *C. acronotus* e o *R. porosus*, em razão da sua abundância no desembarque da pesca artesanal e, principalmente, por ser as únicas espécies que apresentaram um número representativo de indivíduos analisados das 3 maneiras diferentes. Logo, foram considerados 8 exemplares de cada espécie, possibilitando a adequada comparação.

O pequeno tamanho amostral é justificado pela baixa abundância da maioria destas espécies nas pescarias realizadas na costa do Estado de Pernambuco. Como foi citado anteriormente, o cação-frango e o cação-flamengo ganham destaque no desembarque pernambucano. Porém, as outras espécies apresentam baixos valores de captura por unidade de esforço (CPUE). De acordo com o estudo desenvolvido por Hazin e Afonso (2014) ao longo da costa do Nordeste, no período de 2004 a 2014, captura por unidade de esforço (CPUE), correspondente ao número de indivíduos por 100 anzóis, das espécies estudadas

no presente trabalho foram: $0,004(\pm 0,06)$ para o *Carcharhinus leucas*, $0,003(\pm 0,05)$ para o *Carcharhinus limbatus*, $0,023(\pm 0,20)$ *Galeocerdo cuvier* e $0,000(\pm 0,02)$ *Sphyrna mokarran*.

Para cada indivíduo foi atribuído um código para representar o indivíduo de acordo com a espécie (três primeiras letras do gênero + três primeiras da espécie) (Tabela 1).

Tabela 1 – Lista de espécies de tubarões analisadas no estudo

Família	Gênero	Espécie	Código
Carcharhinidae	Carcharhinus	C. acronotus	CARACR
Carcharhinidae	Carcharhinus	C. leucas	CARLEU
Carcharhinidae	Carcharhinus	C. limbatus	CARLIM
Carcharhinidae	Galeocerdo	G. cuvier	GALCUV
Carcharhinidae	Rhizoprionodon	R. porosus	RHIPOR
Sphyrnidae	Sphyrna	S. mokarran	SPHMOK

4.1 Imagens dos Moldes

Para verificar a variação da forma, extraíram-se, no laboratório DIMAR/UFRPE, fotografias frontais dos moldes das arcadas, respeitando sempre a distância de 60 cm da câmera e a altura de 1m do chão, de modo que a câmera estava posicionada perpendicular aos moldes.

4.1.1 Contorno das mandíbulas

A criação do arquivo de imagem para análise de morfometria foi realizada através do software TpsUtil (ROHLF, 2006). A inclusão dos 5 *landmarks* foram feitos no programa TpsDig2 (ROHLF, 2010). Os *landmarks* formam os contornos abertos que acompanham o perfil descrito pelas mandíbulas superiores e inferiores, nas superfícies das marcas das mordeduras nos moldes, como podem ser vistos na Figura 7. O primeiro está localizado sempre no início do contorno; o segundo, entre o primeiro e a sínfise; o terceiro, na sínfise; o quarto, entre a sínfise e o final do contorno; o quinto e último marco foi posicionado no final do contorno.



Figura 7 – Exemplo da localização dos cinco *landmarks* utilizados para traçar o contorno do perfil da mandíbula superior do *R. porosus* marcado no molde.

Uma vez que os cinco marcos estão identificados em todas as imagens, exporta-se para o MorphoJ (KLINGENBERG, 2008) para realizar: sobreposição de procuste, que extrai as informações da forma, depois de eliminar os efeitos de translação, rotação e escala; análise de variável canônica, que detecta as características que melhor diferenciam as espécies; análise discriminante, que detecta a existência de diferença de forma entre os grupos, dois a dois.

4.1.2 Dentes

A distância interdental das mandíbulas superiores (DIS) e das inferiores (DII) foram obtidas diretamente dos moldes de cada espécime coletado. Foram medidas largura (Figura 8) e distância de ponta a ponta (Figura 9), a partir do primeiro dente central (sínfise) até o último dente da primeira fileira, tanto para esquerda (DIIE ou DISE) como para direita (DIID ou DISD), desconsiderando os casos onde a marca do dente não estava presente.



Figura 8 – Exemplo da medição da largura dos dentes superiores do *R. porosus* marcado no molde



Figura 9 – Exemplo da medição da distância ponta a ponta dos dentes superiores do *R. porosus* marcado no molde

As análises foram realizadas no software R-project, versão 3.4.1, utilizando os pacotes *lawstat* (GASTWIRTH et al., 2017) e *PMCMR* (THORSTEN, 2014). Antes de qualquer análise, as variáveis foram submetidas aos testes de *Kolmogorov - Smirnov* (CONOVER, 1999) e de *levene* (LEVENE, 1960), para verificar a normalidade e homogeneidade da variância dos dados, respectivamente. Devido a não normalidade dos dados, foi realizado o teste de *Kruskal-Wallis* (KRUSKAL; WALLIS, 1952) para verificar se há diferenças significativas entre as distâncias interdentais das espécies estudadas. Em caso afirmativo, seguiu-se com o *Teste comparações múltiplas de Nemenyi* (NEMENYI, 1962), em que os pares de espécies foram testados, dois a dois, a fim de identificar as dissimilaridades existentes.

4.2 Imagens 2D

Arcadas de diversas espécies de tubarões encontrados na região metropolitana do Recife foram obtidas a partir da aquisição da cabeça de indivíduos desembarcados pela frota artesanal de Pernambuco e Alagoas em diversas localidades. Estas cabeças foram levadas para laboratório DIMAR/UFRPE e conservadas congeladas até o momento em que as mandíbulas foram retiradas. Na intenção de retirar a arcada, a cabeça é cozinhada para amolecer a carne, facilitando o corte. Após a remoção do excesso de carne e, com o auxílio de bisturi, toda carne é eliminada minuciosamente. Após limpeza da arcada, a mesma é guardada em recipiente de plástico mergulhada em álcool etílico 90 até o momento no qual a arcada é colocada para secar (Figura 10).



Figura 10 – Exemplo de processo de limpeza de arcada de *R. porosus* para retirada da arcada.

Para as imagens 2D foram utilizados registros fotográficos frontais feitos com câmera fotográfica, sendo utilizada uma caixa de isopor de 70 litros, forrada com emborrachado preto. As arcadas foram secas e em seguida fixadas na caixa com o auxílio de agulhas e linhas, numa distância de 60cm da câmera para a arcada e a 1m de altura do chão.

4.2.1 Contorno das mandíbulas

O software TpsUtil (ROHLF, 2006) foi utilizado para criar o arquivo base para análise. O programa TpsDig2 (ROHLF, 2010) foi utilizado para identificar os *landmarks* em cada imagem. Foram considerados cinco *landmarks* que formam os contornos abertos que acompanham o perfil descrito pelas mandíbulas, superiores e inferiores como podem ser vistos na Figura 11. O primeiro está localizado sempre no início do contorno; o segundo, entre o primeiro e a sínfise; o terceiro, localizado na sínfise; o quarto, entre a sínfise e o final do contorno; no quinto e último marco, localizado no final da contorno.



Figura 11 – Exemplo da localização dos cinco *landmarks* utilizados para traçar o contorno do perfil da mandíbula superior do *C. acronotus*.

A análise morfométrica foi realizada no *MorphoJ* (KLINGENBERG, 2008). Inicialmente, foi executada a sobreposição de procuste - etapa em que se extrai as informações da forma - depois de eliminar os efeitos de translação, rotação e escala. Em seguida, foi realizada a análise de variável canônica, detectando-se as características que melhor diferenciam as espécies. E por fim, a análise discriminante, em que se é possível detectar a existência de diferença de forma entre os grupos, dois a dois.

4.2.2 Dentes

Após a secagem das arcadas foram realizadas algumas medidas lineares entre interdentais, tais como: largura - L (Figura 12), altura - A (Figura 13) e distância ponta a ponta - PaP (Figura 14) dos dentes. Essas medidas foram feitas a partir do primeiro dente central (sínfise) até o décimo dente da primeira fileira superior e inferior, tanto para esquerda (DIIE ou DISE) como para direita (DIID ou DISD), desconsiderando os casos onde o dente não estava presente.

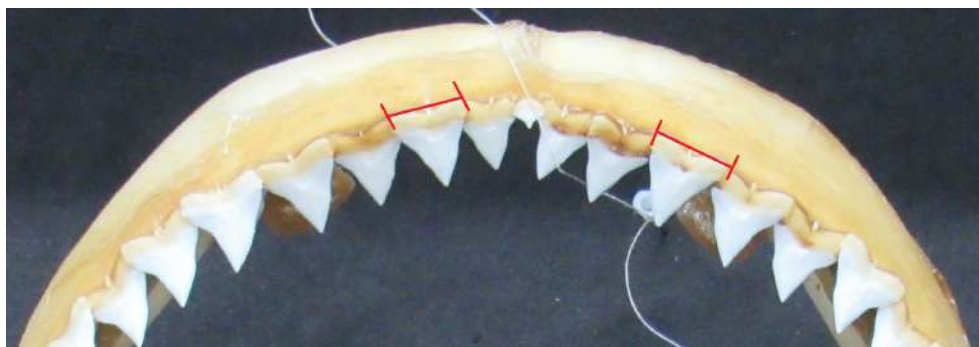


Figura 12 – Exemplo da medição da largura dos dentes superiores do *C. leucas* na própria arcada.

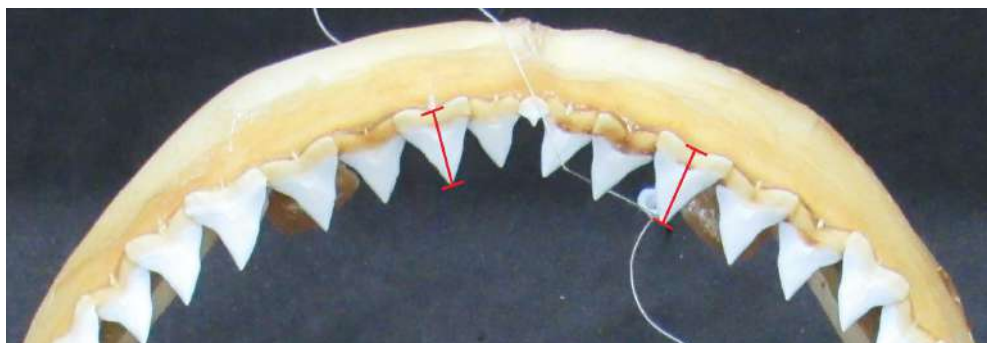


Figura 13 – Exemplo da medição da altura dos dentes superiores do *C. leucas* na própria arcada.

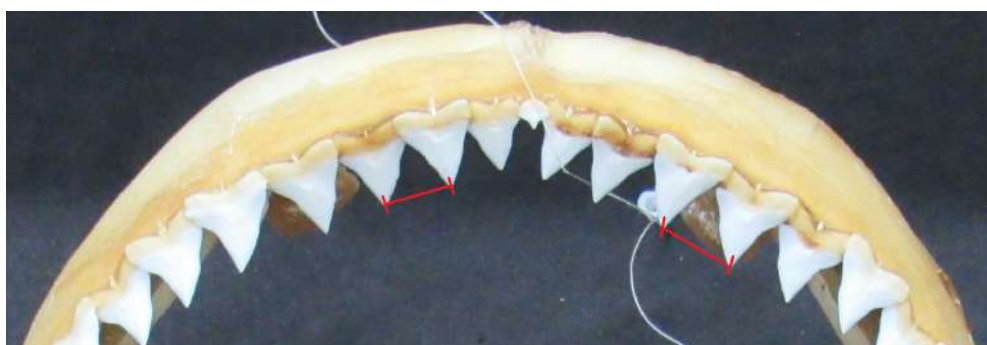


Figura 14 – Exemplo da medição da distância ponta a ponta dos dentes superiores do *C. leucas* na própria arcada.

As análises foram realizadas no software R-project, versão 3.4.1, utilizando os pacotes *lawstat* (GASTWIRTH et al., 2017) e *PMCMR* (THORSTEN, 2014). Para testar a normalidade e homogeneidade das variâncias dos dados, pressupostos básicos para realização dos testes paramétricos, foram realizados os testes de *Kolmogorov - Smirnov* (CONOVER, 1999) e *levene* (LEVENE, 1960), respectivamente. Uma vez que as medições não apresentam normalidade e homogeneidade da variância, deve-se recorrer a testes não paramétricos. Sendo assim, foi realizado o teste de *Kruskal-Wallis* (KRUSKAL; WALLIS, 1952), verificando a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as distâncias interdenta das espécies estudadas. Após identificar dissimilaridade das medições, seguiu-se com o *Teste comparações múltiplas de Nemenyi* (NEMENYI, 1962), buscando identificar as diferenças nas medições entre as espécies.

Após essa breve exploração, a respeito das semelhanças entre as espécies com relação a morfometria linear, é interessante seguir a análise da morfometria geométrica dos dentes. Dessa forma, foram segmentados cinco dentes de cada lado da mandíbula de cada espécie, para a mandíbula superior e inferior, respectivamente. Segmentar o dente nada mais é do que transformar as imagens de forma que possam ser obtidos apenas os pixels do dentes. Sendo assim, é preciso que as imagens estejam em tons de cinza e o único objeto da imagem seja o próprio dente. Dessa forma, é possível converter a imagem do dente em uma série de dados, por meio do algoritmo *Chain-code* (FREEMAN, 1974), que importa, binariza, extrai e armazena as informações. Este incia seu trabalho a partir de um *start point* percorrendo todo o dente, *pixel a pixel*, e monta a série a ser utilizada nas futuras análises.

As análises foram realizadas no software R-project, versão 3.4.1, utilizando os pacotes *Momocs* (BONHOMME et al., 2014), *JPEG* (URBANEK, 2014) e *segmented* (MUGGEO et al., 2008).

4.3 Imagens 3D

Para obter as imagens 3D foi utilizado o *Scanner NextEngine*. A arcada foi fixada em um suporte (Figura 15) e por meio de uma matriz de lasers (Figura 16) as arcadas foram digitalizadas na resolução de 0.005 polegadas. Antes de criar a imagem 3D, é usada câmera e flash para fazer a captura da imagem 2D (Figura 17) que, por sua vez, é usado para texturizar os modelos 3D criados. O scanner não faz distinção entre objetos, arcada e suporte, dessa forma se faz necessário remover o suporte da imagem digitalizada (Figura 18(a)). Uma vez que a arcada é completamente digitalizada (Figura 18(b)), o arquivo é salvo no formato *.xyz* para ser utilizado futuramente no software *R-Project*.



Figura 15 – Exemplo do suporte usado para fixar a arcada.

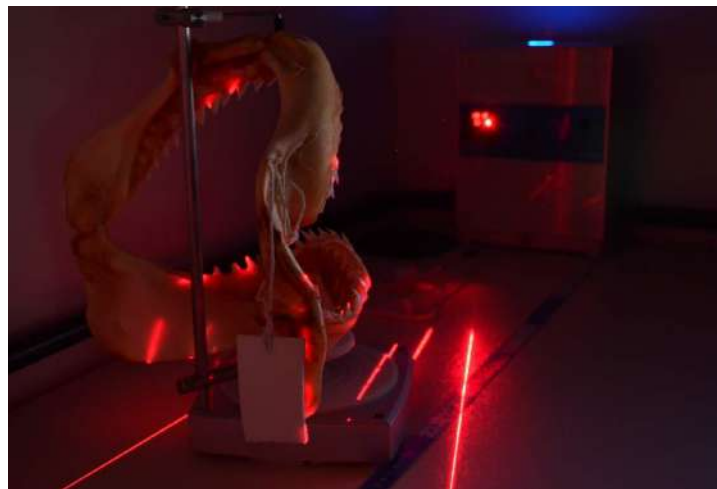


Figura 16 – Exemplo dos lasers percorrendo a arcada para digitalização.

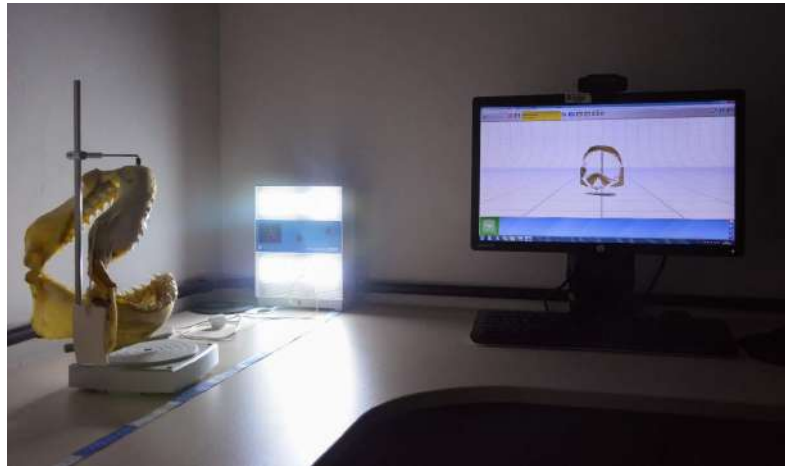


Figura 17 – Exemplo da captura da foto 2D para texturização

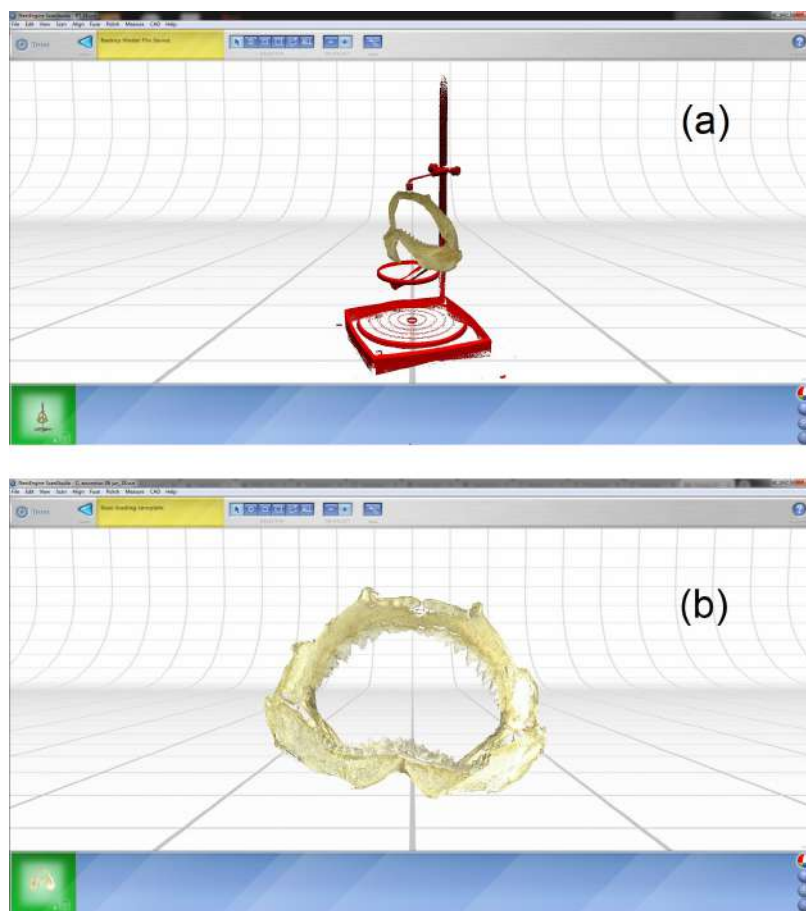


Figura 18 – Exemplo da remoção do suporte de fixação da arcada (a) e a arcada digitalizada pelo scanner (b).

Para criar o arquivo com as coordenadas dos *landmarks*, a fim de realizar a análise morfométrica no *MorphoJ* (KLINGENBERG, 2008), foi utilizado o software R-project versão 3.4.1 com o auxílio do pacote *rlg* (ADLER; MURDOCH, 2018). Foram considerados cinco *landmarks* que formam os contornos abertos que acompanham o perfil descrito pelas mandíbulas, superiores e inferiores como podem ser vistos na Figura 19. O primeiro está localizado sempre no início do contorno; o segundo, entre o primeiro e a sínfise; o terceiro, localizado na sínfise; o quarto, entre a sínfise e o final do contorno; no quinto e último marco, localizado no final do contorno.

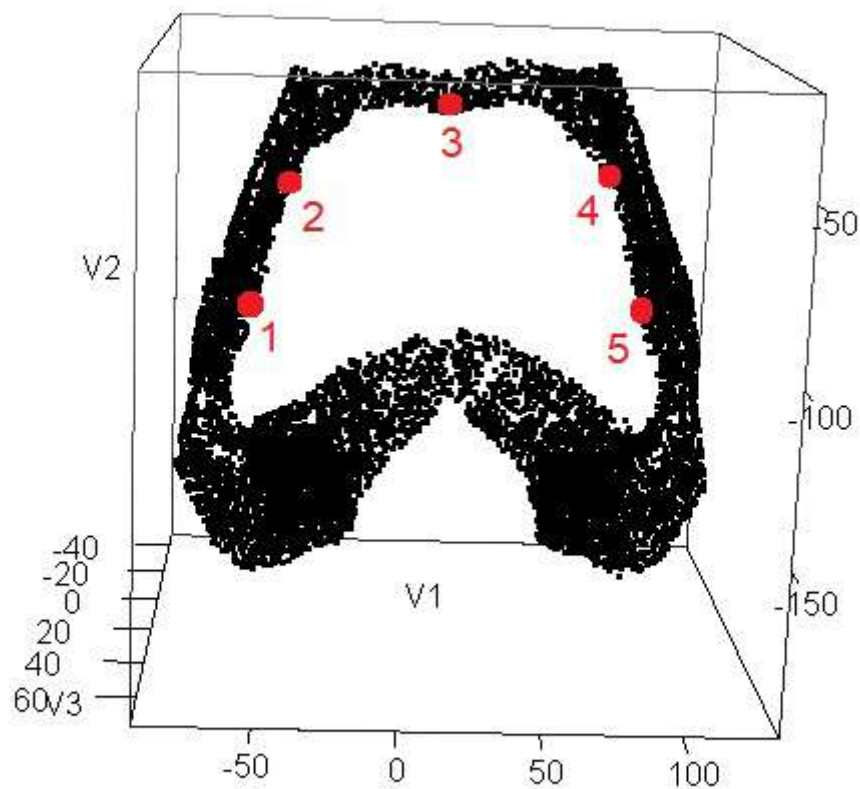


Figura 19 – Exemplo da localização dos cinco *landmarks* utilizados para traçar o contorno do perfil da mandíbula superior do *G. cuvier*, marcado em uma imagem 3D.

A análise morfométrica foi realizada no *MorphoJ* (KLINGENBERG, 2008). Para obter as informações referentes a forma, se faz necessário retirar os efeitos de translação, rotação e escala, e, assim, realizar a sobreposição de Procrustes. Em seguida, com o objetivo de identificar as características que conseguem diferenciar as espécies, foi realizada a análise de variável canônica. E para finalizar, buscando a diferença de forma entre os grupos, dois a dois, foi realizada a análise discriminante.

4.4 Comparação entre fontes de informação

A criação do arquivo, que serve de base para a análise, seguiu o mesmo protocolo para as informações obtidas pelo registro fotográfico dos moldes e das arcadas. O TpsUtil (ROHLF, 2006) criou o arquivo base e, em seguida, foi utilizado o TpsDig2 (ROHLF, 2010) foi usado para identificar os *landmarks* em cada imagem. Foram considerados os mesmos landmarks descritos anteriormente. O arquivo base, proveniente de imagens 3D, foi gerado pela execução do software R-project versão 3.4.1, com o auxílio do pacote *rlg* (ADLER; MURDOCH, 2018).

Para comparar os resultados obtidos pelas diferentes fontes de informação, foram realizadas a sobreposição de procrustes, seguindo da análise canônica e, por fim, a análise discriminante, todas executadas no *MorphoJ* (KLINGENBERG, 2008).

5 Resultados - Moldes

Os moldes foram desenvolvidos para reproduzir a marca das mordidas dos tubarões, o que chamamos de "bite mark". Contudo, é preciso determinar um material a ser usado que conserve as propriedades da mordida ao longo do tempo. Inicialmente, foram testados três diferentes tipos de materiais: massa de modelar, alginato e argila.

5.1 Teste com diferentes tipos de materiais

5.1.1 Massa de modelar

A massa de modelar usada foi do tipo "Play-Doh", extremamente moldável e não gruda à mão. Esse tipo de massa é caracterizada por ser feita à base de carboidratos - amido, por exemplo - e, por conta disso, tem uma forte tendência a mofar com o tempo. Portanto, com o passar dos anos sua fórmula foi alterada e foram adicionados conservantes e surfactantes para impedir o aparecimento do mofo. Atualmente, os ingredientes são: água, carboidratos de cereais, cloreto de sódio, cloreto de cálcio, hidrocarbonetos alifáticos, fragrância e metil. Pode conter ácido cítrico, secante e pigmentos de grau alimentício, conforme a cor. A Figura 20 é um exemplo de um molde realizado com massa de modelar.



Figura 20 – Exemplar de molde inferior em massa de modelar: *S. lewini*

5.1.2 Alginato

Também chamado de algina, substância extraída da parede celular de algas marinhas pardas do Filo Phaeophyta, cuja função é primariamente estrutural. As alginas comerciais são vendidas principalmente sob forma de sais de sódio que, em meio aquoso, formam uma solução pastosa e moldável. Tem diversas aplicabilidades, entre elas a utilização em moldes, como já testado em clínicas odontológicas para realização de moldes dentários. Para sua preparação foi usada balança de precisão, respeitando as indicações dos fabricantes, como pode ser visto na Figura 21. A Figura 22 é um exemplo de um molde em alginato.



Figura 21 – Preparação do molde em alginato: *S. lewini*



Figura 22 – Exemplar de molde inferior em alginato: *S. lewini*

5.1.3 Argila

A argila é um mineral de rochas sedimentares composta de grãos muito finos de silicatos de alumínio e ferro. Os vários tipos de argila são originados a partir de um conjunto de processos físicos e químicos que, modificam as rochas e alteram sua forma física e composição química. Por meio dessas alterações, a argila é formada e, ao entrar em contato com água, adquire plasticidade, tornando-se de fácil manuseio.



Figura 23 – Exemplar de molde inferior em argila: *S. lewini*.

5.1.4 Definição do material para confecção dos moldes

A partir dos testes com os três diferentes tipos de materiais, foi possível verificar que a massa de modelar, por ser feita a base de amido, tende a ressecar com o tempo e a fragmentar devido a sua rigidez, como pode ser visto na Figura 24.

O alginato, por causa da composição, passa por um processo de ressecamento quase instantâneo e, após seco, acaba se contraindo, fato que altera a forma dos dentes e o contorno das arcadas - o que compromete os resultados.

A argila, por outro lado, é de fácil manuseio e, ao secar, não se contrai, nem mesmo altera o contorno da arcada - sendo, assim, o material testado que melhor se adequou às necessidades da pesquisa.

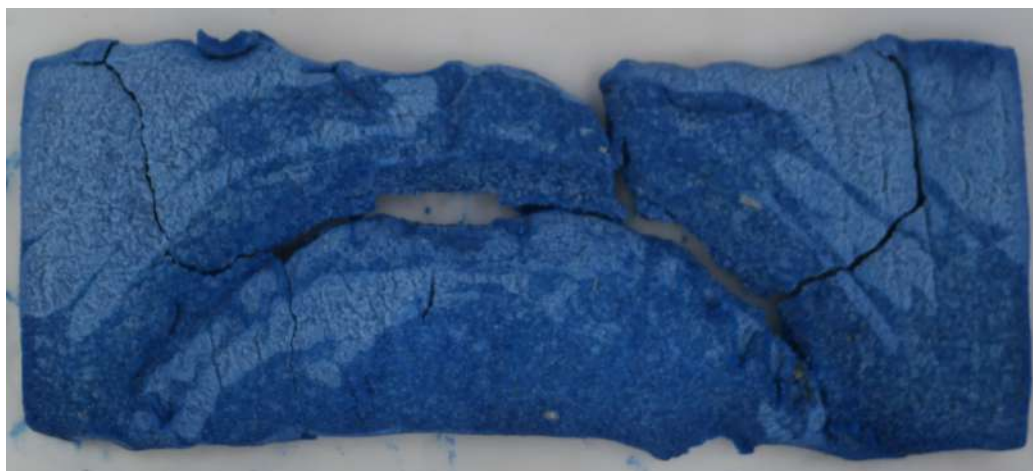


Figura 24 – Exemplar de molde superior em massa de modelar: *S. lewini*.

5.2 Contorno das mandíbulas

5.2.1 Mandíbula superior

A variação entre os grupos, escalonada pelo inverso da variação dentro do grupo, pode ser vista na Tabela 2. Observa-se que, com apenas duas variáveis canônicas, é possível explicar aproximadamente 96% da variabilidade total da forma do contorno da mandíbula superior marcada nos moldes. Sendo assim, deste percentual, a primeira variável corresponde a 84% de variabilidade, ao passo em que a segunda é responsável por apenas 12%.

Tabela 2 – Variação entre os grupos nas mandíbulas superiores - Moldes

Variável canônica	Autovalores	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	2,671	84,085	84,085
2	0,400	12,604	96,689
3	0,105	3,311	100,000

As mudanças de forma associadas às variáveis canônicas podem ser vistas na Figura 25. Ao observar a forma associada à primeira variável canônica, é possível notar que a maior variação entre as espécies está localizada nas extremidades e na sínfise. No entanto, não há variação na sínfise associada a segunda variável. Sendo assim, a primeira variável representa um contorno mais fechado e estreito, a segunda extrai-se informações de uma forma mais quadrada.

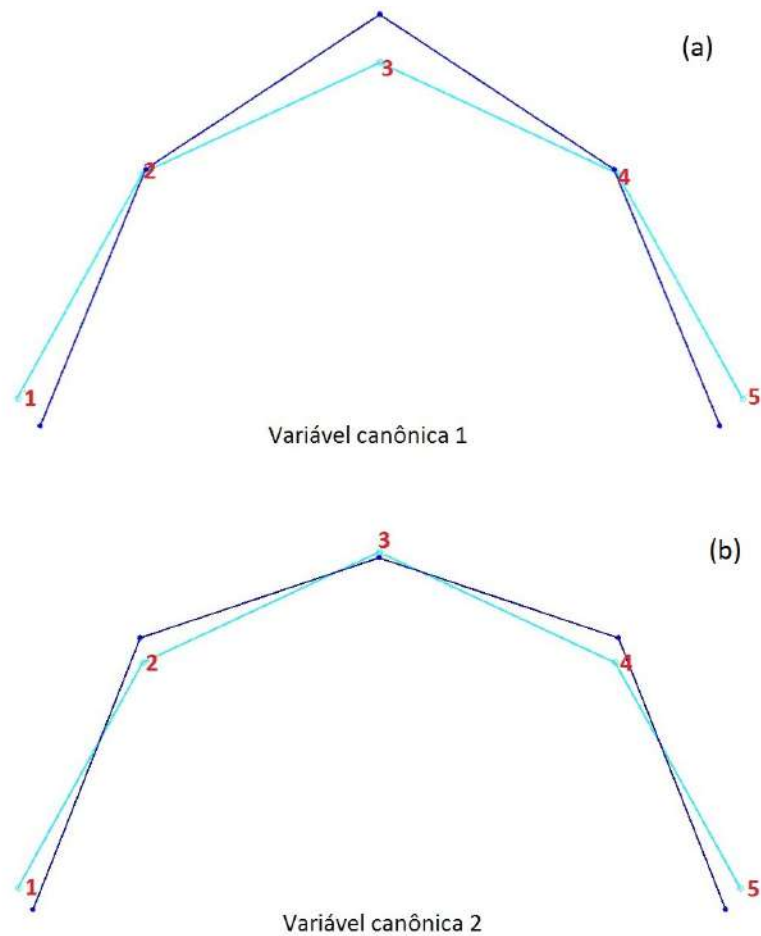


Figura 25 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno nos moldes das mandíbula superior. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.

Ao plotar o gráfico de dispersão dos escores dos coeficientes de variação, nota-se existência de duas elipses apenas para o cação frango e o flamengo. Observando a variável canônica 1, percebe-se a formação de dois grupos: escores positivos *R. porosus* e *C. limbatus*; e escores negativos *G. cuvier*, *S. mokarran* e *C. acronotus* (Figura 26).

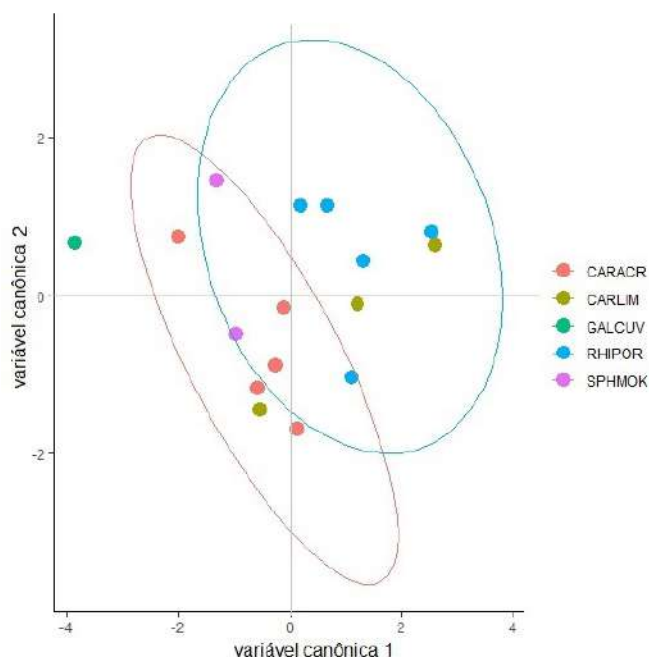


Figura 26 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2, para os moldes superiores. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.

De acordo com a distância de Procrustes, o *R. porosus* é mais semelhante ao *C. limbatus* e diferem do *G. cuvier*. Vale ressaltar, ainda, que o *C. acronotus* mais se assemelha ao *S. mokarran* (Tabela 3).

Tabela 3 – Distância de Procrustes para os moldes superiores

	CARACR	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
CARLIM	0,045			
GALCUV	0,058	0,097		
RHIPOR	0,046	0,013	0,098	
SPHMOK	0,019	0,044	0,054	0,045

De acordo com a análise de variável canônica, é possível notar que existe diferença entre as espécies, portanto, com o objetivo de distinguir a amostra, foi realizada Análise de Função Discriminante (AFD) pelo método de validação cruzada leave-one-out. A premissa da AFD é a comparação de grupos dois a dois, em que os grupos são conhecidos a priori.

A taxa de classificação correta entre a comparação das espécies, tendo os moldes superiores como referência, é alta para o *G. cuvier*, visto que ele difere em 100% dos casos

das três espécies (*C. limbatus*, *R. porosus* e *S. mokarran*). O *R. porosus* apresentou taxa de acerto baixa, 33% dos casos, sendo confundido com o *C. limbatus* (Tabela 4).

Tabela 4 – Matriz de classificação para análise discriminante dos moldes superiores (%)

	CARLIM	GALCUV	RHIPOR	SPHMOK
CARACR	80,000	60,000	80,000	40,000
CARLIM	-	100,000	33,333	66,667
GALCUV	-	-	100,000	100,000
RHIPOR	-	-	-	80,000

5.2.2 Mandíbula inferior

Assim como apresentado no contorno da mandíbula superior, marcado nos moldes, apenas três variáveis explicam a variabilidade total das formas. Sendo que as duas primeiras variáveis são responsáveis por aproximadamente 97% da variação - como pode ser visto na Tabela 5 - composta pela variação entre os grupos, escalonada pelo inverso da variação dentro do grupo.

Tabela 5 – Variação entre os grupos nas mandíbulas inferiores - Moldes

Variável canônica	Autovalores	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	2,210	75,675	75,675
2	0,629	21,531	97,206
3	0,082	2,794	100,000

De acordo com a Figura 27, é possível identificar os *landmarks* que estão ligados com a mudança de forma, diretamente associados às variáveis canônicas. De forma análoga ao contorno superior, a variação das formas está direta associada as extremidades e a sínfise. De modo que, a primeira variável canônica justifica um contorno mais fechado e estreito. E a segunda variável canônica justifica uma forma mais quadrada.

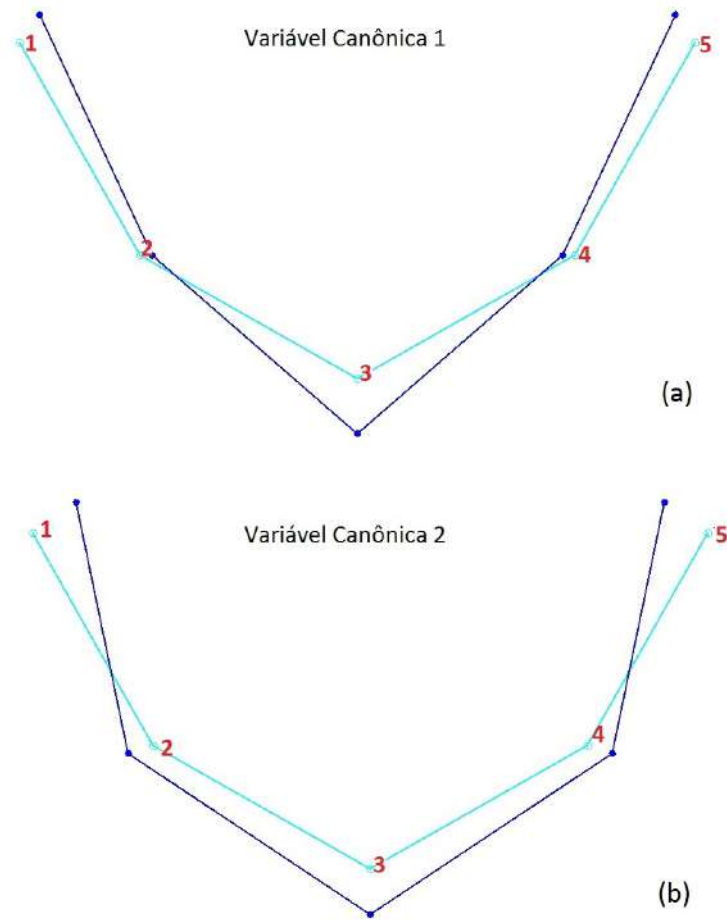


Figura 27 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno nos moldes das mandíbula inferior. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.

Analogamente ao contorno superior, ao concentra apenas a primeira variável, pode-se notar a formação de dois grupos: escores positivos *R. porosus* e *C. limbatus*; e escores negativos *G. cuvier* e *S. mokarran*. Nota-se ainda, que, o *C. acronotus* apresenta scores positivos e negativos (Figura 28).

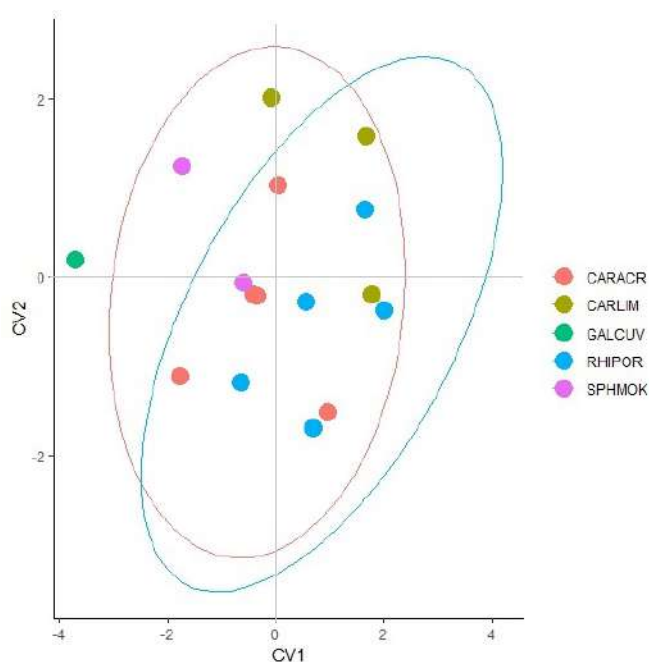


Figura 28 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 para os moldes inferiores. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.

De acordo com as distâncias de Procrustes, o *C. acronotus* é semelhante ao *S. mokarran* e o *G. cuvier* difere significativamente do *C. limbatus*. É importante destacar, ainda, que, o *R. porosus* mais se assemelha com o *C. acronotus* e *S. mokarran* (Tabela 6).

Tabela 6 – Distância de Procrustes para os moldes inferiores

	CARACR	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
CARLIM	0,081			
GALCUV	0,056	0,127		
RHIPOR	0,031	0,054	0,085	
SPHMOK	0,019	0,075	0,053	0,037

A taxa de classificação correta entre a comparação das espécies, tendo os moldes inferiores como referência é alta para o *G. cuvier* visto que ele difere em 100% dos casos de todas as espécies (*C. acronotus*, *C. limbatus*, *R. porosus* e *S. mokarran*). O *C. acronotus* difere em 80% dos casos do *C. limbatus*. O *C. limbatus* apresentou taxa de acerto baixa, 33% dos casos, sendo confundido com o *S. mokarran* (Tabela 7).

Tabela 7 – Matriz de classificação para análise discriminante dos moldes inferiores (%)

	CARLIM	GALCUV	RHIPOR	SPHMOK
CARACR	80,000	100,000	60,000	60,000
CARLIM	-	100,000	66,667	33,333
GALCUV	-	-	100,000	100,000
RHIPOR	-	-	-	100,000

5.3 Dentes

5.3.1 Mandíbula superior

Largura

As larguras dos dentes superiores apresentam comportamento semelhante no lado direito e esquerdo. O *G. cuvier* possui as maiores medições da largura e não apresenta sobreposição do intervalo de confiança com as demais espécies. Em contrapartida, o *R. porosus* possui a menor média de largura (0,332 cm). Percebe-se, ainda, que existe a sobreposição dos intervalos de confiança entre as espécies: *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus*, o que fornece indicadores de semelhança entre as bases dos dentes (Tabela 8).

Tabela 8 – Medidas descritivas da largura dos dentes superiores, por espécie, marcados nos moldes

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,200	0,350	0,400	0,459	0,500	1,000	0,407	0,511
	CARLIM	0,150	0,300	0,350	0,521	0,800	1,400	0,370	0,673
	GALCUV	0,600	0,975	1,000	1,121	1,400	1,500	0,822	1,421
	RHIPOR	0,200	0,300	0,340	0,332	0,400	0,560	0,305	0,358
	SPHMOK	0,400	0,600	0,750	0,753	0,875	1,300	0,659	0,847
Direito	CARACR	0,120	0,285	0,325	0,356	0,413	0,700	0,309	0,402
	CARLIM	0,130	0,300	0,300	0,345	0,400	0,900	0,286	0,404
	GALCUV	0,700	1,250	1,500	1,363	1,525	1,700	1,091	1,634
	RHIPOR	0,120	0,260	0,330	0,332	0,380	0,630	0,304	0,361
	SPHMOK	0,500	0,600	0,700	0,674	0,750	0,800	0,624	0,723

Note que o *C. limbatus* apresenta grande variabilidade de medições no lado direito, apesar da sua mediana está relativamente próxima das medianas das espécies *C. acronotus* e *R. porosus*. Perceba que, em ambos os lados a mediana do *C. acronotus* é ligeiramente inferior que a do *R. porosus*. Porém, a variabilidade dos dados nas duas espécies é pequena, dando indícios de similaridade entre as larguras dos dentes, em ambos os lados, das espécies citadas. É possível, ainda, visualizar a grande variabilidade da largura do *G. cuvier* visto anteriormente (Figura 29).

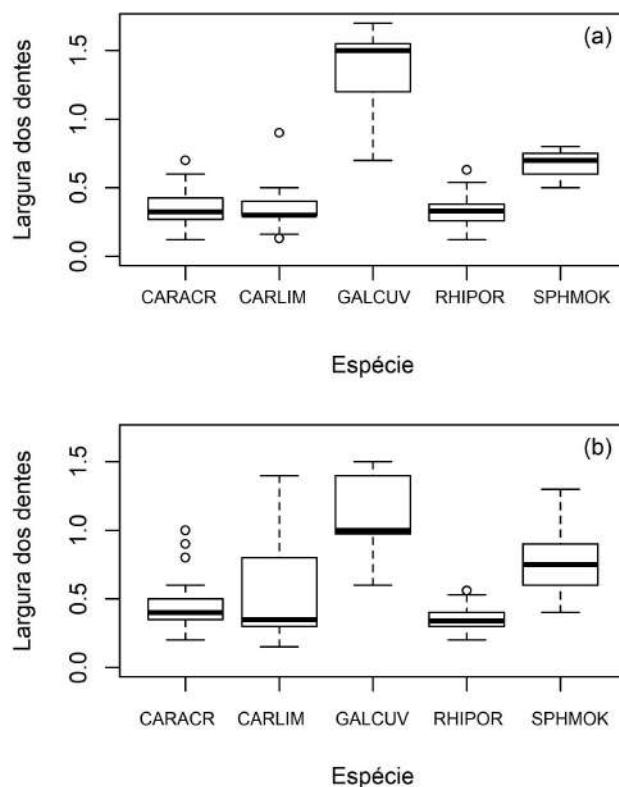


Figura 29 – Box-plot para a largura dos dentes marcados nos moldes: (a) superior esquerda; (b) superior direita.

A medições da largura dos dentes superiores marcados nos moldes em ambos os lados não são normalmente distribuídas ($p - \text{valor} < 0,001$) e apresentam heterogeneidade na variância ($p - \text{valor} < 0,001$), justificando, assim, o uso do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, que por sua vez, fornece indícios de que há diferença entre as espécies em observação ($p - \text{valor} < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a largura dos dentes superiores marcados nos moldes confeccionados, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. É importante frisar que as espécies semelhantes com relação à largura são: *C. acronotus* com *C. limbatus*, *C. acronotus* com *R. porosus*, *C. limbatus* com *R. porosus* e *G. cuvier* com *S. mokarran* (Tabela 9).

Tabela 9 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes superiores marcados nos moldes

		CARACR	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLIM	1,0000	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,9900	1,0000	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	< 0,0001	0,8900	< 0,0001
Direito	CARLIM	0,8354	-	-	-
	GALCUV	0,0059	0,0011	-	-
	RHIPOR	0,0088	0,3944	< 0,0001	-
	SPHMOK	0,0053	0,0007	0,8744	< 0,0001

Distância de Ponta a Ponta

As distâncias de ponta a ponta dos dentes superiores não apresentam comportamento semelhante no lado direito e esquerdo. O *G. cuvier* possui as maiores medições – 1,7cm e 1,75cm nos lados esquerdo e direito, respectivamente. Em ambos os lados o *R. porosus* apresenta baixa variabilidade. O comportamento do intervalo de confiança para a distância entre uma ponta e outra é semelhante ao intervalo da largura dos dentes. O *G. cuvier* não se sobrepõe as demais e existe sobreposição entre *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus* (Tabela 10).

Tabela 10 – Medidas descritivas, por espécie, da distância de ponta a ponta dos dentes superiores marcados nos moldes

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,180	0,300	0,300	0,438	0,500	1,200	0,355	0,521
	CARLIM	0,200	0,350	0,400	0,460	0,600	1,100	0,378	0,542
	GALCUV	1,300	1,450	1,500	1,521	1,625	1,700	1,391	1,652
	RHIPOR	0,200	0,310	0,400	0,393	0,440	0,580	0,363	0,422
	SPHMOK	0,600	0,900	1,000	1,200	1,300	2,600	0,890	1,510
Direito	CARACR	0,300	0,350	0,400	0,444	0,500	1,000	0,397	0,490
	CARLIM	0,200	0,400	0,450	0,625	0,900	2,000	0,451	0,799
	GALCUV	1,250	1,312	1,425	1,458	1,575	1,750	1,255	1,661
	RHIPOR	0,200	0,300	0,350	0,380	0,460	0,600	0,343	0,416
	SPHMOK	0,300	0,400	0,450	0,479	0,575	0,700	0,405	0,552

Note que o *S. mokarran* e o *C. limbatus* apresenta grande variabilidade de medições no lado esquerdo e direito, respectivamente. De modo similar a largura dos dentes, o posicionamento das medianas da distância entre uma ponta a outra dos dentes superiores do *C. acronotus*, *C. limbatus* e do *R. porosus* é sutilmente diferente entre si. Ressaltando apenas a maior variabilidade do *C. limbatus* comparada com as demais. Ao observar

as medias, tem-se fortes indícios de similaridade entre essas espécies. É possível, ainda, visualizar a disparidade nas medições do *G. cuvier* visto anteriormente (Figura 30).

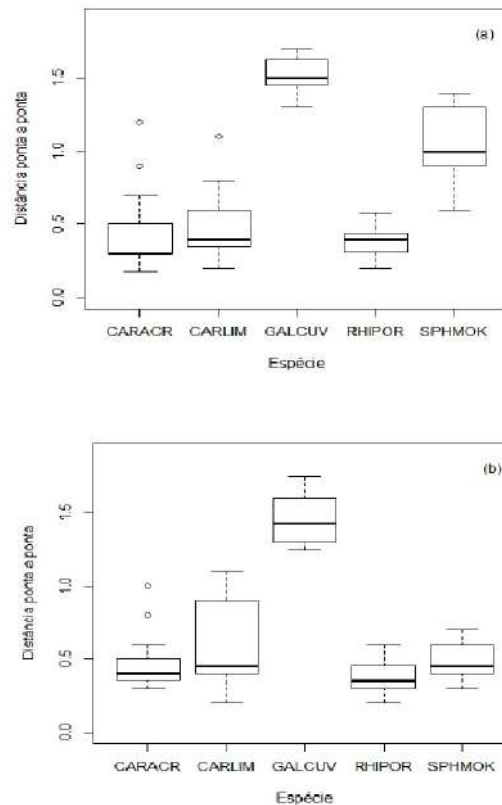


Figura 30 – Box-plot para a largura dos dentes marcados nos moldes: (a) superior esquerda; (b) superior direita.

Os testes: Kolmogorov - Smirnov, Levene e Kruskal-Wallis, foram realizadas para verificar a normalidade, homogeneidade da variância e diferença entre as espécies, para a distância entre uma ponta a outra ponta dos dentes. De modo que, tais medições não são normalmente distribuídas ($p - \text{valor} < 0,001$) e apresentam heterogeneidade na variância ($p - \text{valor} < 0,001$), justificando, assim, o uso do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis que, por sua vez, fornece indícios de que há diferença entre as espécies em observação ($p - \text{valor} < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa na distância ponta a ponta dos dentes superiores marcados nos moldes confeccionados, tanto para os localizados na mandíbula superior

esquerda quanto direita. É importante frisar que as espécies semelhantes são: *C. acronotus* com *C. limbatus*, *C. acronotus* com *R. porosus*, para ambos os lados. A semelhança no lado esquerdo se dá entre: *C. limbatus* com *R. porosus* e *G. cuvier* com *S. mokarran*; e no lado direito é entre *S. mokarran* com *C. acronotus*, com *C. limbatus* e com *R. porosus* (Tabela 11).

Tabela 11 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi na distância ponta a ponta dos dentes superiores marcados nos moldes

		CARACR	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLIM	0,8705	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	0,0007	-	-
	RHIPOR	0,9937	0,9740	0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	0,0002	0,9698	< 0,0001
Direito	CARLIM	0,7265	-	-	-
	GALCUV	0,0014	0,0282	-	-
	RHIPOR	0,3351	0,0357	< 0,0001	-
	SPHMOK	0,8567	1,0000	0,0457	0,1355

5.3.2 Mandíbula inferior

Largura

As larguras dos dentes inferiores apresentam comportamento semelhante no lado direito e esquerdo. Assim como nas larguras superiores, o *G. cuvier* possui as maiores medições – 1,3cm lado esquerdo e 1,4cm lado direito, sem sobreposição do intervalo de confiança às outras quatro espécies. As médias de largura do *C. acronotus* (0,247cm lado esquerdo e 0,251cm lado direito), do *C. limbatus* (0,187cm lado esquerdo e 0,206cm lado direito) e do *R. porosus* (0,267cm lado esquerdo e 0,283cm lado direito) são próximas e existe sobreposição dos intervalos de confiança (Tabela 12).

Tabela 12 – Medidas descritivas da largura dos dentes inferiores, por espécie, marcados nos moldes

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,100	0,200	0,200	0,247	0,300	0,650	0,207	0,288
	CARLIM	0,050	0,100	0,150	0,187	0,250	0,500	0,141	0,233
	GALCUV	0,600	0,700	0,750	0,867	1,000	1,300	0,681	1,052
	RHIPOR	0,100	0,200	0,250	0,267	0,300	0,560	0,236	0,298
	SPHMOK	0,300	0,600	0,600	0,614	0,700	0,800	0,547	0,682
Direito	CARACR	0,100	0,150	0,200	0,251	0,400	0,600	0,207	0,295
	CARLIM	0,100	0,100	0,200	0,206	0,300	0,350	0,164	0,249
	GALCUV	0,650	1,000	1,100	1,061	1,100	1,400	0,909	1,213
	RHIPOR	0,150	0,250	0,300	0,283	0,300	0,500	0,258	0,307
	SPHMOK	0,200	0,500	0,600	0,586	0,600	1,000	0,487	0,685

Nota-se que o *G. cuvier* apresenta grande variabilidade de medições e ausência de outliers no lado esquerdo. Perceba que a mediana do *R. porosus*, em ambos os lados, sutilmente maior que as medianas do *C. acronotus* e do *C. limbatus* com pequena variabilidade nas três espécies, fornecendo indícios de similaridade entre elas. É possível, ainda, visualizar maior variabilidade da largura do *C. acronotus* no lado inferior direito quando comparado com o direito (Figura 31).

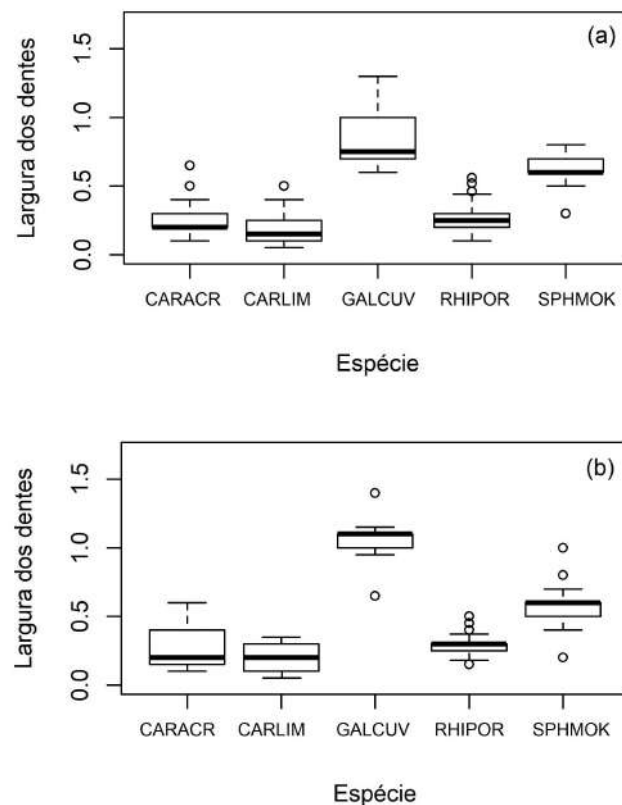


Figura 31 – Box-plot para a largura dos dentes marcados nos moldes: (a) inferior esquerda; (b) inferior direita.

As medições referentes a largura dos dentes inferiores marcados nos moldes não são normalmente distribuídas ($p - valor < 0,001$) e apresentam heterogeneidade na variância ($p - valor < 0,001$), violando pressupostos básicos para realização de teste paramétrico de comparação de médias. Sendo assim, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis que, por sua vez, forneceu indícios de diferença entre as espécies em observação ($p - valor < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a largura dos dentes inferiores marcados nos moldes confeccionados, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. Vale-se ressaltar que as espécies semelhantes com relação a largura são: *C. acronotus* com *C. limbatus* e com *R. porosus* e *G. cuvier* com *S. mokarran*. Destaca-se ainda a largura dos inferiores direito, que apresentam similaridade entre *C. limbatus* com *R. porosus* (Tabela 13).

Tabela 13 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes inferiores marcados nos moldes

		CARACR	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLIM	1,0000	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,8493	0,0441	0,0002	-
	SPHMOK	< 0,0001	< 0,0001	0,9677	0,0002
Direito	CARLIM	0,9185	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,4429	0,1785	0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	< 0,0001	0,7478	0,0005

Distância entre uma ponta a outra

As distâncias de ponta a ponta dos dentes inferiores apresentam comportamento semelhante no lado direito e esquerdo. Assim como em todas as medições apresentadas anteriormente, o *G. cuvier* possui as maiores medições. A média da distância entre uma ponta e outra dos dentes é próxima para o *C. limbatus* (0,358cm lado esquerdo e 0,350cm lado direito) e para *R. porosus* (0,334mm lado esquerdo e 0,340cm lado direito). Além dessa proximidade, percebe-se, também, a sobreposição dos intervalos de confiança (Tabela 14).

Tabela 14 – Medidas descritivas da distância de ponta a ponta dos dentes inferiores, por espécie, marcados nos moldes

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,100	0,400	0,600	0,525	0,600	0,850	0,467	0,583
	CARLIM	0,210	0,308	0,400	0,358	0,400	0,430	0,333	0,383
	GALCUV	1,100	1,288	1,400	1,375	1,500	1,550	1,249	1,501
	RHIPOR	0,150	0,265	0,310	0,334	0,390	0,570	0,297	0,371
	SPHMOK	0,900	1,075	1,200	1,200	1,325	1,400	1,111	1,289
Direito	CARACR	0,250	0,400	0,500	0,531	0,600	0,800	0,484	0,578
	CARLIM	0,200	0,300	0,350	0,350	0,400	0,500	0,312	0,387
	GALCUV	1,300	1,337	1,400	1,387	1,413	1,500	1,329	1,446
	RHIPOR	0,100	0,300	0,345	0,340	0,400	0,510	0,308	0,371
	SPHMOK	0,500	1,000	1,300	1,200	1,350	1,700	1,017	1,383

Nota-se que a mediana da distância de uma ponta a outra dos dentes inferiores marcados nos moldes do *C. acronotus*, está levemente superior que as *C. limbatus* e do *R. porosus*, como suas variabilidades não são tão grandes, existe grande indícios de semelhança entre essas espécies. De forma análoga, é possível notar que a mediana do *G. cuvier* está localizada um pouco acima da mediana do *S. mokarran*, fornecendo indicações de que as distâncias entre a ponta dos dentes dessas espécies, sejam iguais (Figura 32).

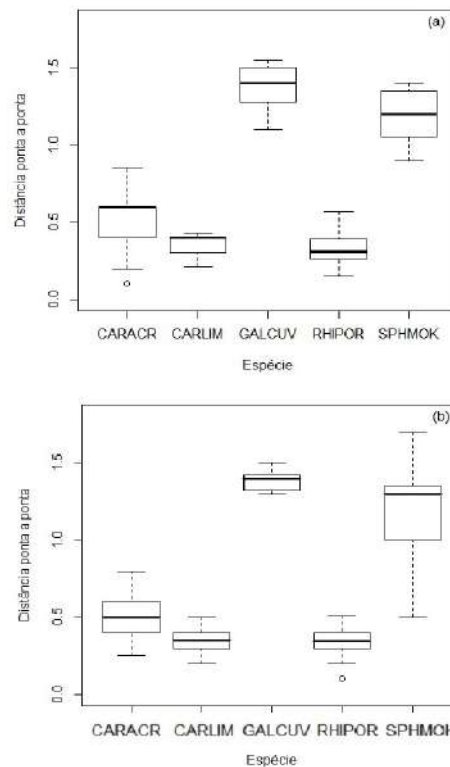


Figura 32 – Box-plot para a distância ponta a ponta dos dentes marcados nos moldes: (a) inferior esquerda; (b) inferior direita.

Para investigar a normalidade e homogeneidade da variância dessas medições foram realizados os testes de Kolmogorov - Smirnov e Levene, indicando que os dados violam os pressupostos básicos dos testes paramétricos, visto que não são normalmente distribuídos ($p\text{-valor} < 0,001$) e suas variâncias não são homogêneas ($p\text{-valor} < 0,001$). Dessa forma foi necessário recorrer ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, em que foi indicado a diferença entre as espécies ($p\text{-valor} < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a distância ponta a ponta dos dentes inferiores marcados nos moldes confeccionados, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. É importante frisar que as espécies semelhantes são: *C. limbatus* com *R. porosus* e *G. cuvier* com *S. mokarran*, em ambos os lados (Tabela 15).

Tabela 15 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a distância ponta a ponta dos dentes inferiores marcados nos moldes

		CARACR	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLIM	0,0390	-	-	-
	GALCUV	0,0088	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,0004	0,8998	< 0,0001	-
	SPHMOK	0,0029	0,0000	0,9903	< 0,0001
Direito	CARLIM	0,0042	-	-	-
	GALCUV	0,0145	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,0001	0,9999	< 0,0001	-
	SPHMOK	0,0169	0,0000	0,9868	< 0,0001

5.4 Considerações

Em relação ao tamanho amostral utilizado por esse estudo, 16 moldes de 5 espécies diferentes, é possível obter informações confiáveis a partir das imagens analisadas, especialmente ao comparar com o trabalho desenvolvido por Duarte-Neto et al. (2019) que só tiveram acesso a 11 indivíduos de 4 espécies distintas. Dessa forma, ao fazer uso dessa amostra, foi possível minimizar a variabilidade intragrupo, isto é, a variabilidade entre indivíduos da mesma espécie, o que possibilita um entendimento real sobre suas peculiaridades, extraíndo, assim, informações fidedignas à realidade.

Ao realizar testes com diferentes materiais, a argila foi escolhida para confeccionar todos os moldes que foram utilizados nesse estudo, permitindo a marcação das mandíbulas

superiores e inferiores. Não existia uma quantidade pré determinada de tentativas para a marcação ideal. Corroborando com o estudo de Jublier e Clua (2018) que apesar de não testar outros materiais utilizou, com êxito, moldes de argila para avaliar o tamanho do tubarão a partir da marca da mordida.

Alguns autores iniciaram as investigações a respeito dos padrões de mordedura, feitos em superfícies duras e moles, com o intuito de fazer estimativas sobre as espécies de tubarão e o tamanho dos seus corpos. Apesar do potencial para determinação de tamanho, a metodologia apresentada pelos autores é pouco eficiente para identificar espécies (LOWRY et al., 2009). Já os resultados apresentados por Duarte-Neto et al. (2019) usando curvatura parecem levar a uma boa identificação de espécies, mas ainda com um certo grau de incerteza, devido ao seu pequeno tamanho amostral.

Interligando os resultados das análises realizadas com a marca das mandíbulas – medições da largura e distância entre uma ponta e outra dos dentes superiores e inferiores marcados nos moldes – anteriormente apresentadas, destaca-se a forma do contorno da mandíbula e as medidas interdentaes do tubarão tigre que difere das demais espécies. Desse modo, é possível identificar que o contorno da mandíbula do *G. cuvier* apresenta forma quadrada, com dentes largos e distância entre uma ponta e outra espaçada.

É possível destacar, ainda, que os indivíduos classificados como animais de grande porte possuem contorno da mandíbula superior e inferior mais quadrado. Entretanto, os de pequeno porte são mais fechados e pontudos. Deve-se entender como animais de pequenos porte as seguintes espécies: *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus*. Já os de grande porte são: *G. cuvier* e *S. mokarran*.

Em síntese, vemos que o *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus* apresentam semelhança de forma e de medições da largura e de distância ponta a ponta, exceto na distância entre uma ponta a outra dos dentes inferiores. Essas espécies possuem padrão especificamente costeiro-pelágico, com distribuição contínua ao longo de toda a plataforma continental das regiões tropicais e subtropicais, excluindo as possíveis limitações zoogeográficas que impeçam sua distribuição, podendo ser encontrados em ambiente recifais (GADIG, 2001).

O contorno da curvatura da mandíbula do *G. cuvier* difere de todas as outras, mas a largura e distância ponta a ponta dos dentes são similares ao *S. mokarran*. Tal similaridade pode ser entendida pelo fato de possuírem hábitos especificamente costeiro-oceânicos com modo de vida pelágico, podendo ser encontrados em ambientes recifais, na faixa costeira, e insulares na área oceânica (GADIG, 2001).

Assim como os resultados obtidos por Jublier e Clua (2018), pode-se destacar a

necessidade de incluir e considerar conhecimentos ecológicos e informações fundamentais para poder identificar, com redução de incertezas, as espécies de tubarão envolvidas em um determinado incidente.

6 Resultados - Imagens 2D

6.1 Contorno das mandíbulas

6.1.1 Mandíbula superior

A variação entre os grupos, escalonada pelo inverso da variação dentro do grupo, pode ser vista na Tabela 16. Observa-se que duas variáveis canônicas são capazes de explicar aproximadamente 95% da variabilidade total associada à forma da mandíbula superior. E desses 95%, 70% é explicada com apenas a primeira variável.

Tabela 16 – Variação entre os grupos - na mandíbula superior - Imagem 2D

Variável canônica	Autovalores	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	4,651	71,153	71,153
2	1,566	23,959	95,112
3	0,320	4,888	100,000

As mudanças de forma associadas às variáveis canônicas podem ser vistas na Figura 33. Ao se focar exclusivamente na variação associada a primeira variável canônica, nota-se que as maiores variações são nos *landmarks* 2, 3 e 4, com leve variação nas extremidades. Já ao observar a variação associada a segunda variável canônica, nota-se que nos *landmarks* 2 e 4 existe variação sutil, diferentemente dos *landmarks* 1, 3 e 5. Dessa forma, pode-se pensar que a variação associada a primeira variável fornece uma forma da mandíbula mais aberta, enquanto que a segunda gera um contorno quadrado.

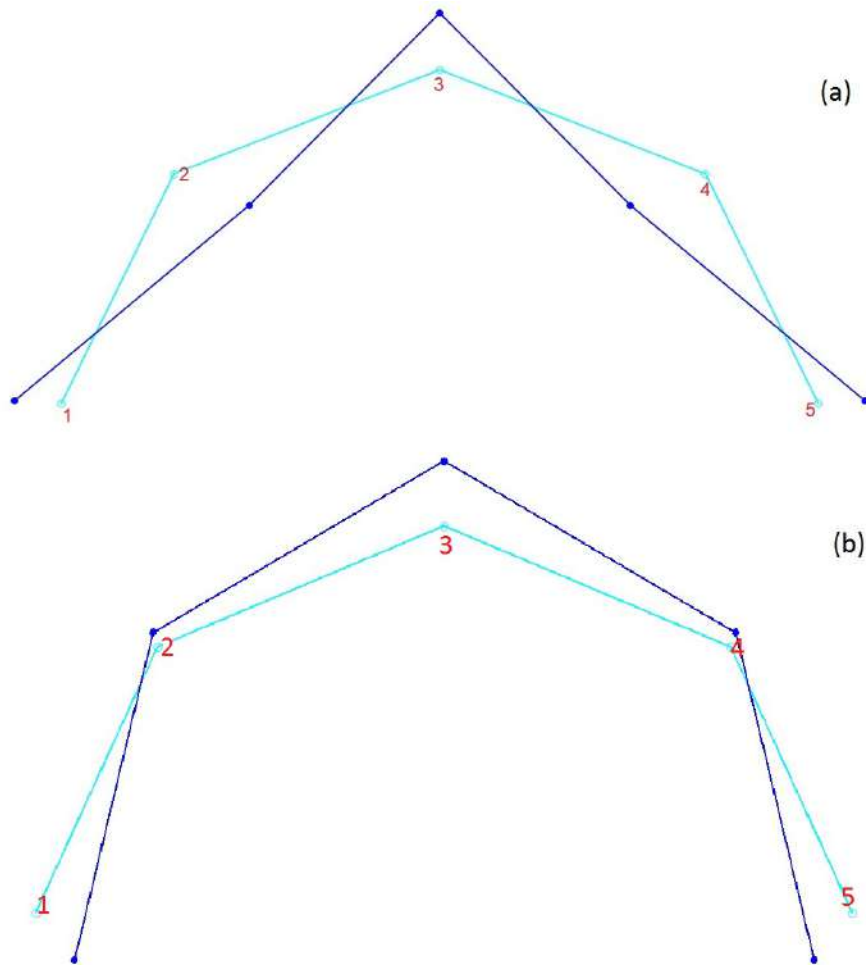


Figura 33 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno das mandíbula superior – Imagens 2D. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.

É possível gerar o gráfico de dispersão dos escores dos coeficientes de variação, destacando, assim, a formação de dois grupos: escores positivos *R. porosus* e *C. acronotus*; e escores negativos *C. limbatus*, *G. cuvier* e *S. mokarran*. Nesse sentido, o *C. leucas* destaca-se por apresentar escores positivos e negativos (Figura 34).

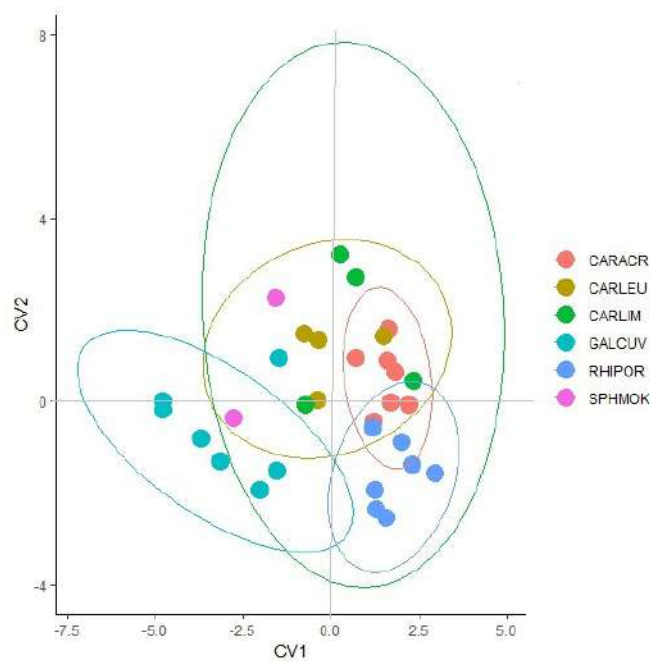


Figura 34 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 – mandíbula superior – imagem 2D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.

De acordo com as distâncias de Procrustes, o *C. leucas* é semelhante ao *C. limbatus*. É possível perceber uma similaridade entre o *C. leucas* e o *C. limbatus* com o *C. acronotus*. Nota-se, ainda, que o *S. mokarran* é bastante diferente do *R. porosus*. É importante destacar, ainda, que o *G. cuvier* possui valores altos para as distâncias de todas as espécies (Tabela 17).

Tabela 17 – Distância de Procruste para a mandíbula superior - Imagem 2D

	CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
CARLEU	0,043				
CARLIM	0,048	0,018			
GALCUV	0,109	0,092	0,109		
RHIPOR	0,100	0,127	0,140	0,111	
SPHMOK	0,077	0,038	0,042	0,094	0,155

A taxa de classificação correta entre a comparação das espécies, tendo as imagens 2D das mandíbulas superiores como referência, é alta para o *G. cuvier*, posto que ele difere em 100% dos casos das espécies *R. porosus* e *C. acronotus*. O *R. porosus* se diferencia

do *C. acronotus*, apresentando taxa de acerto de 100%. O *C. limbatus* apresenta taxa de acerto baixa, se confundindo com o *C. leucas* e *S. mokarran* (Tabela 18).

Tabela 18 – Matriz de classificação para análise discriminante da mandíbula superior (%) - Imagem 2D

	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR	SPHMOK
CARACR	71,429	71,429	100,000	100,000	100,000
CARLEU	-	25,000	75,000	50,000	50,000
CARLIM	-	-	75,000	50,000	25,000
GALCUV	-	-	-	100,000	71,429
RHIPOR	-	-	-	-	100,000

6.1.2 Mandíbula inferior

A variável canônica 1 explica 85% da variabilidade total das imagens 2D das mandíbulas inferiores, como pode ser visto na Tabela 19, composta pela variação entre os grupos, escalonada pelo inverso da variação dentro do grupo.

Tabela 19 – Variação entre os grupos - mandíbula inferior - Imagem 2D.

Variável canônica	Autovalores	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	3,205	85,508	85,508
2	0,510	13,600	99,107
3	0,033	0,893	100,000

As mudanças de forma associadas às variáveis canônicas podem ser vistas na Figura 35. Percebe-se que a maior variabilidade da forma está associada ao terceiro *landmark*, isto é, na sínfise. O que muda da primeira variável canônica para a segunda é o sentido da mudança, de forma que a primeira apresenta uma forma mais fechada e a segunda uma forma mais estreita e quadrada.

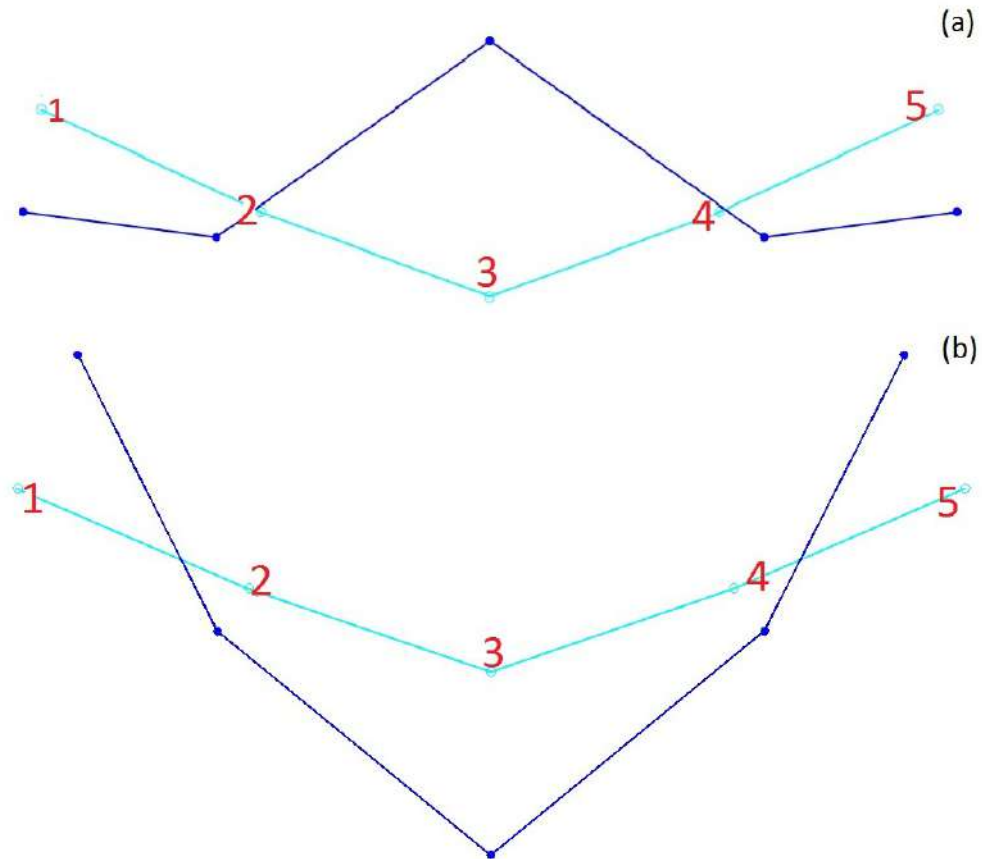


Figura 35 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno das mandíbula inferior – Imagens 2D. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.

De acordo com o gráfico de dispersão dos escores dos CV's, pode-se notar a formação de dois grupos: escores negativos *R. porosus* e *C. acronotus*; e escores positivos *G. cuvier*, *S. mokarran*. Com destaque para o *C. leucas* por apresentar escores positivos e negativos (Figura 36).

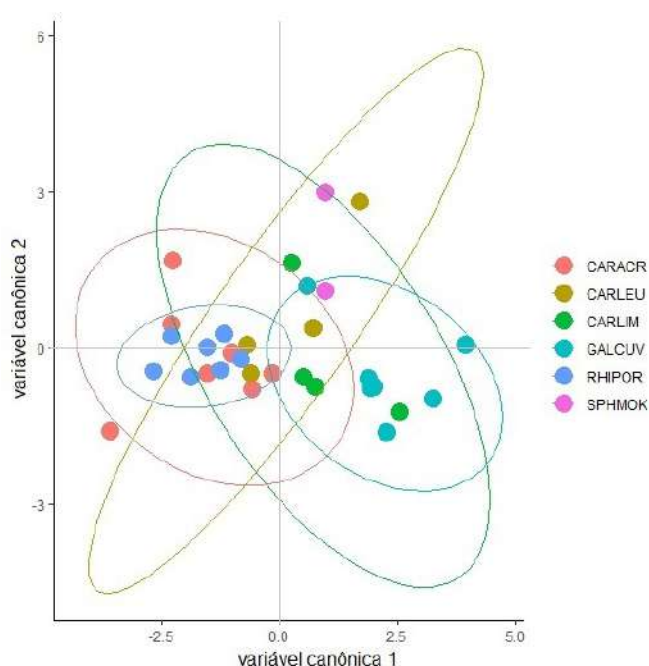


Figura 36 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 - mandíbula inferior - Imagem 2D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.

De acordo com as distâncias de Procrustes, o *C. acronotus* é semelhante ao *R. porosus*. Observa-se, ainda, que o *S. mokarran* é bastante diferente do *G. cuvier*. Ressalva-se, ainda, que o *G. cuvier* é mais diferente do *C. acronotus*, *C. leucas* e *R. porosus* (Tabela 20).

Tabela 20 – Distância de Procruste para a mandíbula inferior - Imagem 2D

	CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
CARLEU	0,051				
CARLIM	0,108	0,114			
GALCUV	0,175	0,178	0,068		
RHIPOR	0,010	0,04 5	0,112	0,179	
SPHMOK	0,181	0,142	0,250	0,306	0,172

A taxa de classificação correta entre a comparação das espécies, tendo os moldes superiores como referência, é alta para o *G. cuvier*, uma vez que ele difere em 100%, 75%, 50% e 85% dos casos das espécies *C. acronotus*, *C. leucas*, *C. limbatus*, *R. porosus* e *S. mokarran*, respectivamente. O *R. porosus* se diferencia do *C. leucas* e do *S. mokarran*,

apresentando taxa de acerto de 100% para ambos os casos. O *C. limbatus* apresenta taxa de acerto baixa, se confundindo com o *C. leucas* (Tabela 21).

Tabela 21 – Matriz de classificação para análise discriminante das mandíbulas inferiores (%) - Imagem 2D

	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR	SPHMOK
CARACR	85,714	85,714	100,000	42,857	85,714
CARLEU	-	25,000	75,000	100,000	50,000
CARLIM	-	-	50,000	75,000	50,000
GALCUV	-	-	-	85,714	85,714
RHIPOR	-	-	-	-	100,000

6.2 Dentes - medidas lineares

6.2.1 Mandíbula superior

Largura

Pode-se notar o mesmo comportamento nas medidas da largura dos dentes superiores direito e esquerdo. O *G. cuvier* possui as maiores medições para as bases dentárias (2,630 cm lado esquerdo e 3,100 cm lado direito). Os valores médios em destaque são do *C. leucas* (1,215 cm lado esquerdo e 1,637 cm) e do *G. cuvier* (1,202 cm lado esquerdo e 1,526 cm) por apresentarem as maiores médias. Com relação aos intervalos de confiança é possível perceber a sobreposição do *C. leucas* com *G. cuvier* e do *C. limbatus* com o *R. porosus*, fornecendo indícios de similaridade entre as espécies. (Tabela 22).

Tabela 22 – Medidas descritivas, por espécie, da largura dos dentes superiores - Imagem 2D

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,200	0,400	0,600	0,548	0,700	0,900	0,504	0,592
	CARLEU	0,320	0,685	1,345	1,215	1,640	1,770	1,068	1,362
	CARLIM	0,100	0,200	0,400	0,391	0,500	0,900	0,313	0,468
	GALCUV	0,450	0,765	1,010	1,202	1,495	2,630	1,054	1,350
	RHIPOR	0,150	0,300	0,400	0,367	0,440	0,660	0,339	0,394
	SPHMOK	0,800	0,980	1,060	1,072	1,125	1,350	1,001	1,144
Direito	CARACR	0,100	0,363	0,500	0,507	0,700	0,900	0,455	0,559
	CARLEU	1,140	1,442	1,660	1,637	1,827	2,150	1,548	1,726
	CARLIM	0,100	0,258	0,500	0,443	0,600	0,900	0,362	0,524
	GALCUV	0,560	0,900	1,430	1,526	1,995	3,100	1,337	1,715
	RHIPOR	0,160	0,330	0,400	0,384	0,440	0,530	0,363	0,404
	SPHMOK	0,620	0,920	1,035	1,063	1,278	1,380	0,947	1,179

Percebe-se que a posição da mediana é capaz de separar dois grupos. O *C. limbatus*

possui mediana levemente superior a dos *C. acronotus* e do *R. porosus*, sugerindo similaridade entre essas espécies. O segundo grupo apresenta comportamentos diferentes no lado esquerdo e direito. Para o lado esquerdo, é possível verificar que, embora a mediana do *G. cuvier* esteja localizada suavemente abaixo da mediana do *S. mokarran*, existem indícios de similaridade entre elas. O lado direito sugere similaridade entre as espécies *C. leucas*, *G. cuvier* e *S. mokarran*, uma vez que as medianas estão posicionadas relativamente próximas (Figura 37).

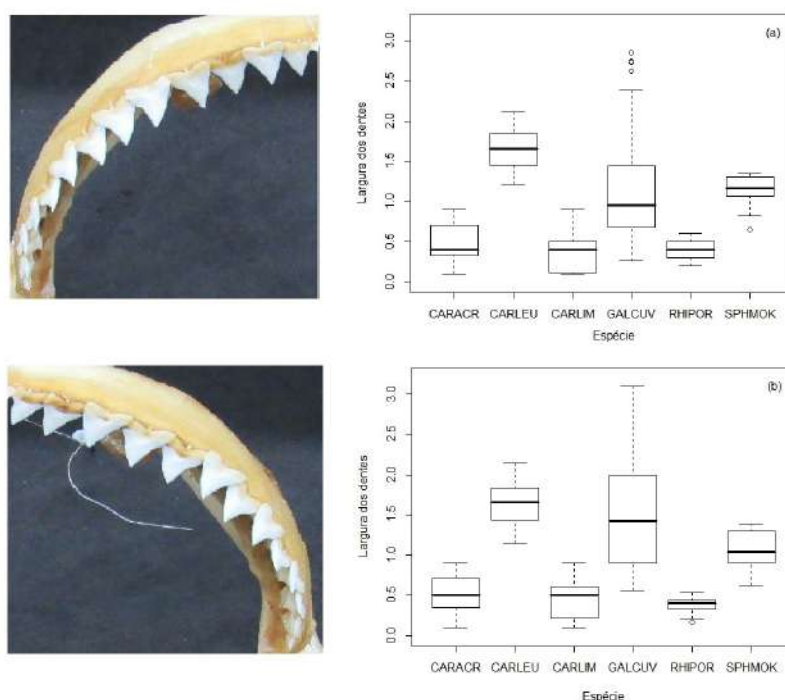


Figura 37 – Box-plot para a largura dos dentes nas imagens 2D: (a) superior esquerda; (b) superior direita.

Em ambos os lados, as medições da largura não são normalmente distribuídas ($p - \text{valor} < 0,001$) e possuem heterogeneidade de variância ($p - \text{valor} < 0,001$), violando pressupostos básicos dos testes paramétricos. Sendo assim, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, obtendo-se, então, indícios de similaridade entre as espécies estudadas ($p - \text{valor} < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a largura dos dentes superiores, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. É importante frisar que as

espécies semelhantes, com relação à largura, são: *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus*, *S. mokarran* com *C. leucas* e *S. mokarran* com *G. cuvier* (Tabela 23).

Tabela 23 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes superiores - Imagem 2D

		CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLEU	<0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,576	<0,0001	-	-	-
	GALCUV	<0,0001	0,011	<0,0001	-	-
	RHIPOR	0,377	<0,0001	1,000	<0,0001	-
	SPHMOK	<0,0001	0,438	<0,0001	0,990	<0,0001
Direito	CARLEU	<0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,980	<0,0001	-	-	-
	GALCUV	<0,0001	0,780	<0,0001	-	-
	RHIPOR	0,250	<0,0001	0,870	<0,0001	-
	SPHMOK	<0,0001	0,320	<0,0001	0,860	<0,0001

Altura

Pode-se notar o mesmo comportamento nas medidas da altura dos dentes superiores direitos e esquerdos. As maiores alturas podem ser vistas na espécie *G. cuvier* (2,2 cm lado esquerdo e 2,35 cm lado direito). As menores medições são do *C. acronotus* e do *C. limbatus* (ambos com 0,1 cm). Em relação à sobreposição de intervalos, é possível destacar a sobreposição do *C. acronotus* com o *C. limbatus* e do *G. cuvier* com o *S. mokarran* (Tabela 24).

Tabela 24 – Medidas descritivas, por espécie, da altura dos dentes superiores - Imagem 2D

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,100	0,300	0,500	0,522	0,700	0,900	0,467	0,577
	CARLEU	0,359	0,822	1,265	1,188	1,508	1,750	1,057	1,319
	CARLIM	0,100	0,400	0,450	0,490	0,675	0,900	0,409	0,570
	GALCUV	0,113	0,390	0,620	0,723	1,050	2,200	0,599	0,846
	RHIPOR	0,120	0,260	0,340	0,317	0,370	0,470	0,296	0,338
	SPHMOK	0,550	0,750	0,770	0,784	0,870	0,950	0,725	0,843
Direito	CARACR	0,100	0,300	0,400	0,475	0,700	0,900	0,418	0,533
	CARLEU	0,458	0,827	1,260	1,175	1,413	1,810	1,047	1,302
	CARLIM	0,100	0,400	0,500	0,544	0,800	0,900	0,461	0,626
	GALCUV	0,114	0,369	0,700	0,878	1,145	2,350	0,727	1,029
	RHIPOR	0,110	0,258	0,300	0,309	0,400	0,480	0,289	0,329
	SPHMOK	0,610	0,730	0,820	0,804	0,900	1,000	0,746	0,861

É possível observar que o *G. cuvier* apresenta grande variabilidade de medições em ambos os lados. Analisando o posicionamento da mediana não é possível separar as

espécies em grupos, uma vez que existe sobreposição entre todas as espécies (Figura 38).

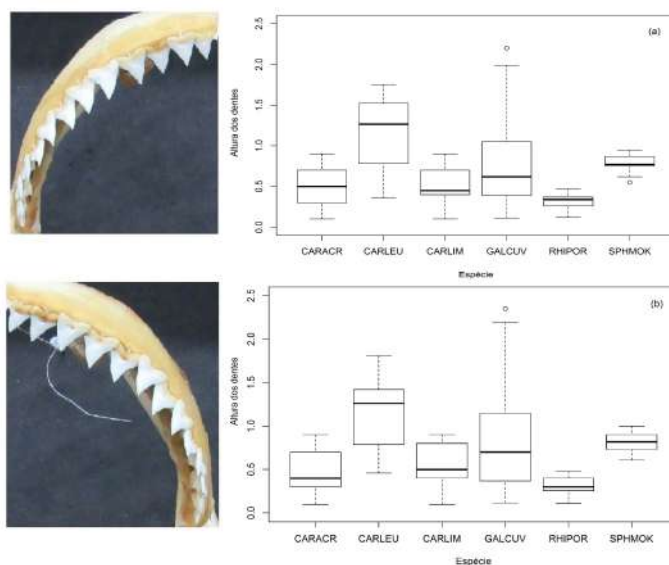


Figura 38 – Box-plot para a altura dos dentes nas imagens 2D: (a) superior esquerda; (b) superior direita.

Foram realizados testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene para verificar os pressupostos básicos dos testes paramétricos. Sendo constatado que as alturas dos dentes superiores não são normalmente distribuídas ($p\text{-valor} < 0,001$) e possuem heterogeneidade de variância ($p\text{-valor} < 0,001$), sendo indicado recorrer ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis que, por sua vez, fornece indícios de que há diferença entre as espécies em observação ($p\text{-valor} < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a altura dos dentes superiores, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. Vale-se, também, frisar que as espécies semelhantes, com relação à altura, são: *C. acronotus*, *C. limbatus*, *S. mokarran* com *C. limbatus* e *S. mokarran* com *G. cuvier* (Tabela 25).

Tabela 25 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a altura dos dentes superiores - Imagem 2D

		CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,9993	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	0,5416	< 0,0001	0,4616	-	-
	RHIPOR	< 0,0001	< 0,0001	0,0037	< 0,0001	-
	SPHMOK	0,0117	0,8163	0,0105	0,2366	< 0,0001
Direito	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,6838	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	0,0010	0,0036	0,3867	-	-
	RHIPOR	0,0157	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	-
	SPHMOK	0,0013	0,8088	0,0915	0,7389	< 0,0001

Ponta a Ponta

Pode-se notar o mesmo comportamento nas medidas da distância de uma ponta a outra dos dentes superiores direitos e esquerdos. De forma análoga às medidas apresentadas anteriormente, têm-se que as maiores distâncias entre uma ponta e outra podem ser vistas na espécie *G. cuvier* (2,850 cm do lado esquerdo e 3,220 cm do lado direito). Com relação ao intervalo de confiança, percebe-se que existe a sobreposição do *C. limbatus* com o *R. porosus* e do do *G. cuvier* com o *S. mokarran* (Tabela 26).

Tabela 26 – Medidas descritivas, por espécie, da distância ponta a ponta dos dentes superiores - Imagem 2D

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,100	0,325	0,400	0,496	0,700	0,900	0,442	0,551
	CARLEU	1,210	1,460	1,660	1,668	1,845	2,120	1,589	1,747
	CARLIM	0,100	0,120	0,400	0,383	0,500	0,900	0,307	0,459
	GALCUV	0,260	0,678	0,955	1,126	1,443	2,850	0,977	1,276
	RHIPOR	0,200	0,300	0,400	0,386	0,500	0,600	0,362	0,411
	SPHMOK	0,650	1,038	1,060	1,106	1,258	1,430	1,028	1,185
Direito	CARACR	0,200	0,300	0,400	0,443	0,550	0,800	0,405	0,480
	CARLEU	1,250	1,465	1,593	1,611	1,693	2,220	1,532	1,691
	CARLIM	0,100	0,400	0,500	0,528	0,725	0,900	0,447	0,608
	GALCUV	0,590	0,930	1,630	1,649	2,185	3,220	1,446	1,852
	RHIPOR	0,210	0,300	0,360	0,370	0,400	0,770	0,345	0,396
	SPHMOK	0,620	0,820	1,060	1,033	1,300	1,300	0,914	1,152

Nota-se que o *G. cuvier* apresenta grande variabilidade de medições em ambos os lados. As medianas do *C. acronotus*, *C. limbatus* e do *R. porosus* estão situadas relativamente na mesma posição, com pequena variabilidade, indicando uma possível similaridade entre elas. Embora a posição da mediana alterne entre o *G. cuvier* e o *S.*

mokarran é constatado a sobreposição de medidas indicando a similaridade entre elas (Figura 39).

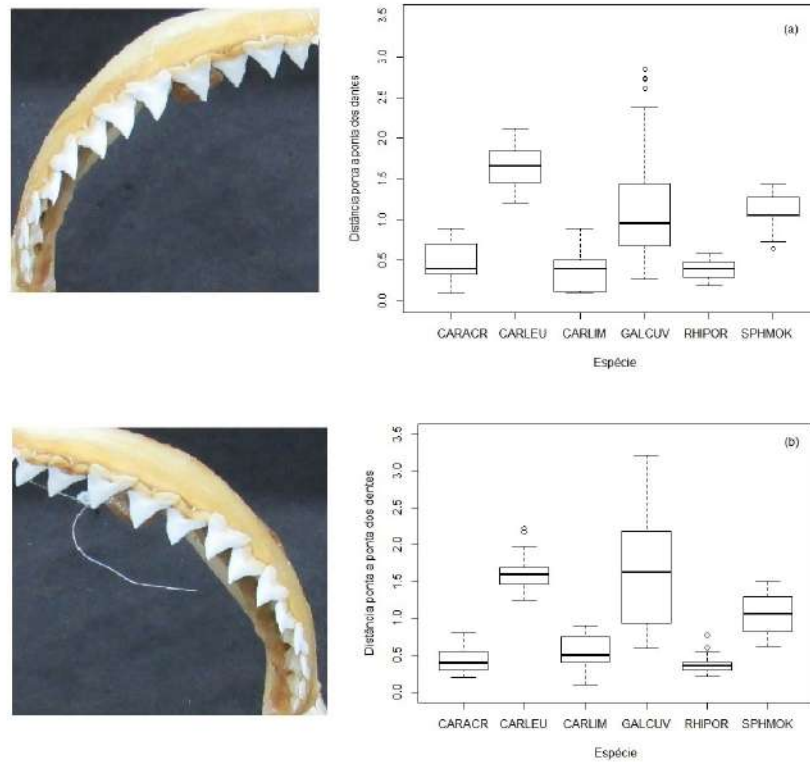


Figura 39 – Box-plot para a distância entre uma ponta a outra dos dentes nas imagens 2D: (a) superior esquerda; (b) superior direita.

As medidas das distâncias entre uma ponta e outra dos dentes superiores não são normalmente distribuídas ($p - \text{valor} < 0,001$) e possuem variâncias heterogêneas ($p - \text{valor} < 0,001$). O teste de Kruskal-Wallis revelou que existe similaridade entre algumas espécies ($p - \text{valor} < 0,001$), sendo necessário realizar um teste a posteriori a fim de identificar onde estão essas similaridades.

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a altura dos dentes superiores, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. Importa-se frisar que as espécies semelhantes, com relação às distâncias entre uma ponta e outra, são: *S. mokarran* com *G. cuvier*, *S. mokarran* com *C. leucas*, *C. limbatus* com *C. acronotus* e *R. porosus* (Tabela 27).

Tabela 27 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a distância de uma ponta a outra entre os dentes superiores - Imagem 2D

		CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,6043	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	0,0068	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,4004	< 0,0001	1,000	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	0,2021	< 0,0001	1,000	< 0,0001
Direito	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,834	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	0,998	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,668	< 0,0001	0,132	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	0,412	0,006	0,558	< 0,0001

6.2.2 Mandíbula inferior

Largura

Assim como na largura dos dentes superiores, o *G. cuvier* possui as maiores bases dos dentes inferiores (2,610 cm do lado esquerdo e 2,630 cm do lado direito) – enquanto que o *C. limbatus* possui as menores medições (0,100 cm do lado esquerdo e direito, respectivamente). Entretanto, as maiores médias são do *C. leucas* (1,215 cm do lado esquerdo e 1,637 cm do lado direito). Ao analisar os intervalos de confiança é visível a sobreposição das espécies *C. leucas*, *G. cuvier* e *S. mokarran*, e do *C. limbatus* com o *R. porosus* (Tabela 28).

Tabela 28 – Medidas descritivas, por espécie, dos dentes inferiores - Imagem 2D

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,200	0,400	0,500	0,509	0,600	0,800	0,470	0,549
	CARLEU	0,440	0,700	1,345	1,232	1,597	1,860	1,083	1,380
	CARLIM	0,100	0,200	0,400	0,397	0,525	0,900	0,320	0,473
	GALCUV	0,380	0,798	1,025	1,201	1,503	2,610	1,052	1,349
	RHIPOR	0,160	0,310	0,400	0,381	0,450	0,630	0,356	0,405
	SPHMOK	0,700	0,943	0,995	1,056	1,200	1,400	0,971	1,140
Direito	CARACR	0,200	0,400	0,600	0,548	0,700	0,900	0,504	0,592
	CARLEU	0,320	0,685	1,345	1,215	1,640	1,770	1,068	1,362
	CARLIM	0,100	0,200	0,400	0,391	0,500	0,900	0,313	0,468
	GALCUV	0,450	0,765	1,010	1,202	1,495	2,630	1,054	1,350
	RHIPOR	0,150	0,300	0,400	0,367	0,440	0,660	0,339	0,394
	SPHMOK	0,800	0,980	1,060	1,072	1,125	1,350	1,001	1,144

De acordo com os box-plots apresentados na Figura 40 vê-se que ambos os lados são símiles. A localização das medianas formam dois possíveis grupos de similaridades: o

primeiro é formado pelas espécies de grande porte – *C. leucas*, *G. cuvier* e *S. mokarran*; e o segundo pelos de pequeno porte – *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus*.

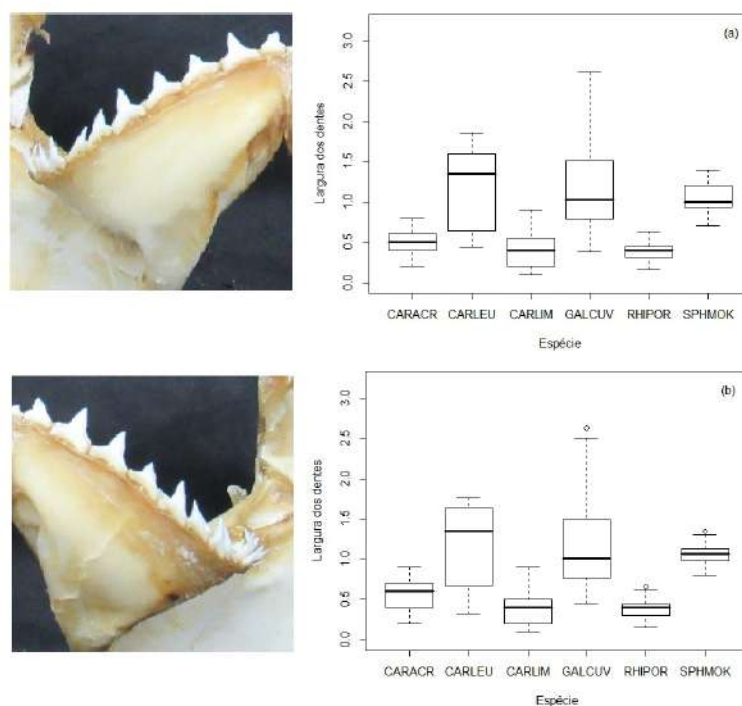


Figura 40 – Box-plot para a largura dos dentes nas imagens 2D: (a) inferior esquerda; (b) inferior direita.

As medições das bases dos dentes inferiores não são normalmente distribuídas ($p - \text{valor} < 0,001$), ao passo em que as variâncias são heterogêneas ($p - \text{valor} < 0,001$) e, de acordo com o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, têm-se indícios de que há diferença entre as espécies em observação. Dessa forma, se faz necessário uma posterior realização de um teste a fim de identificar quais espécies são similares ou dissimilares.

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a largura dos dentes inferiores, tanto para os localizados na mandíbula inferior esquerda quanto direita. É importante frisar que as espécies semelhantes, em relação à largura, são: *C. leucas*, *G. cuvier* e *S. mokarran*, *C. limbatus* com *C. acronotus* e *C. limbatus* com *R. porosus* (Tabela 29).

Tabela 29 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a largura dos dentes inferiores - Imagem 2D

		CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,2340	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	0,9960	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,0480	< 0,0001	1,0000	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	1,0000	< 0,0001	1,0000	< 0,0001
Direito	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,0596	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	0,9997	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,0028	< 0,0001	0,9991	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	1,0000	< 0,0001	0,9991	< 0,0001

Altura

As alturas dos dentes inferiores segue o mesmo comportamento que a superior. Verifica-se no *G. cuvier* as maiores medições (1,900 cm do lado esquerdo e 1,840 cm do lado direito) – enquanto que o *C. acronotus* tem as menores (0,050 cm do lado esquerdo e 0,100 cm do lado direito). Com relação ao intervalo de confiança, verifica-se a sobreposição do *C. acronotus* com *C. limbatus*. Além disso, ressalta-se a sobreposição do *C. leucas* com o *S. mokarran* (Tabela 30).

Tabela 30 – Medidas descritivas, por espécie, da altura dos dentes inferiores - Imagem 2D

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,050	0,300	0,400	0,368	0,500	0,700	0,327	0,410
	CARLEU	0,137	0,820	1,160	1,023	1,320	1,760	0,874	1,172
	CARLIM	0,100	0,300	0,400	0,382	0,475	0,900	0,317	0,448
	GALCUV	0,160	0,460	0,570	0,714	0,890	1,900	0,609	0,818
	RHIPOR	0,100	0,200	0,250	0,263	0,315	0,480	0,242	0,285
	SPHMOK	0,400	0,765	0,800	0,845	1,000	1,200	0,744	0,946
Direito	CARACR	0,100	0,200	0,400	0,356	0,500	0,600	0,317	0,396
	CARLEU	0,159	0,486	1,070	0,956	1,250	1,550	0,814	1,097
	CARLIM	0,100	0,300	0,400	0,406	0,500	0,900	0,333	0,479
	GALCUV	0,210	0,395	0,565	0,713	0,898	1,840	0,600	0,826
	RHIPOR	0,100	0,200	0,250	0,261	0,330	0,500	0,238	0,285
	SPHMOK	0,670	0,825	0,900	0,903	1,000	1,100	0,840	0,965

Vê-se que o *C. leucas* apresenta grande variabilidade de medições, porém diferentemente das demais medições e, analogamente às alturas superiores, a mediana não consegue separar as alturas em grupos distintos (Figura 41).

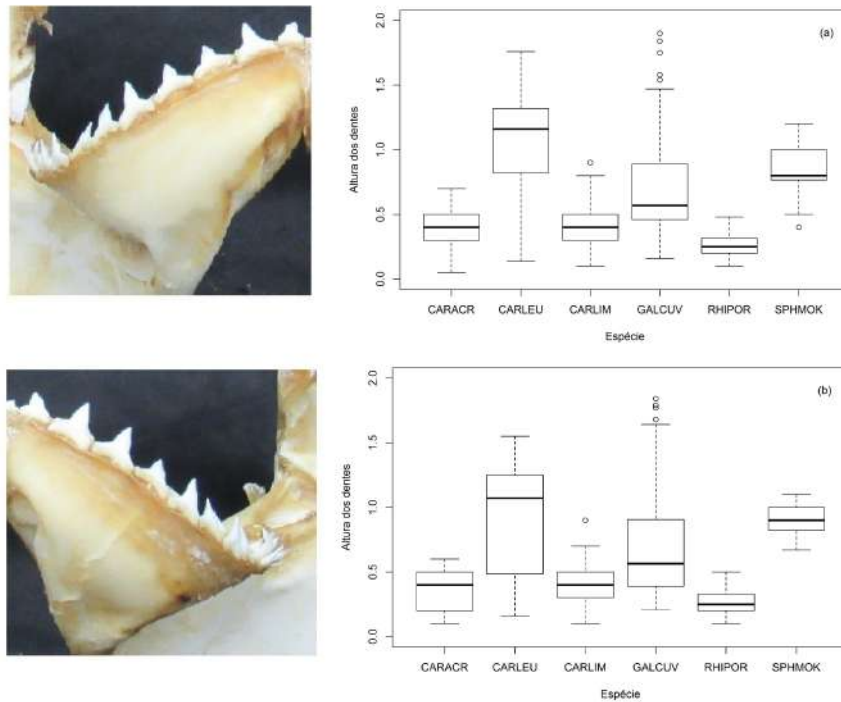


Figura 41 – Box-plot para a altura dos dentes nas imagens 2D: (a) lado inferior esquerdo; (b) lado inferior direita.

As alturas dos dentes inferiores não são normalmente distribuídas ($p - valor < 0,001$), as variâncias não são homogêneas ($p - valor < 0,001$), sendo necessário recorrer ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis que, como efeito, fornece indícios de que há diferença entre as espécies ($p - valor < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a altura dos dentes inferiores, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. Frisa-se, também, que as espécies semelhantes, com relação à altura, são: *C. limbatus* com *C. acronotus*, *S. mokarran* com *C. leucas* e *S. mokarran* com *G. cuvier* (Tabela 31).

Tabela 31 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para a altura dos dentes inferiores - Imagem 2D

		CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	1,000	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,074	< 0,0001	0,110	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	0,430	0,000	0,652	< 0,0001
Direito	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,757	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	1,000	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,035	0,000	0,002	< 0,0001	-
	SPHMOK	0,004	0,791	0,131	0,806	< 0,0001

Ponta a Ponta

Pode-se notar o mesmo comportamento nas medidas das distâncias de uma ponta a outra dos dentes superiores direito e esquerdo. As maiores distâncias nos dentes inferiores podem ser vistas na espécie *G. cuvier* (3,440 cm do lado esquerdo e 3,220 cm do lado direito). As menores medições da média são do *R. porosus* (0,385 cm do lado esquerdo e 0,370 cm do lado direito). O intervalo de confiança do *C. limbatus* sobrepõe o intervalo do *R. porosus*, assim como o do *G. cuvier* se sobrepõe ao do *C. leucas* (Tabela 32).

Tabela 32 – Medidas descritivas, por espécie, das distâncias ponta a ponta dos dentes inferiores - Imagem 2D

		Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Intervalo de confiança 95%	
								Limite inferior	Limite superior
Esquerdo	CARACR	0,200	0,400	0,600	0,566	0,700	0,900	0,520	0,611
	CARLEU	1,130	1,340	1,558	1,539	1,739	1,840	1,465	1,614
	CARLIM	0,110	0,330	0,400	0,464	0,675	0,900	0,385	0,542
	GALCUV	0,380	0,888	1,230	1,513	2,060	3,440	1,303	1,723
	RHIPOR	0,200	0,300	0,400	0,385	0,410	0,610	0,363	0,406
	SPHMOK	0,760	0,920	1,130	1,253	1,600	1,900	1,061	1,445
Direito	CARACR	0,200	0,300	0,400	0,443	0,550	0,800	0,405	0,480
	CARLEU	1,250	1,465	1,593	1,611	1,693	2,220	1,532	1,691
	CARLIM	0,100	0,400	0,500	0,528	0,725	0,900	0,447	0,608
	GALCUV	0,590	0,930	1,630	1,649	2,185	3,220	1,446	1,852
	RHIPOR	0,210	0,300	0,360	0,370	0,400	0,770	0,345	0,396
	SPHMOK	0,620	0,820	1,060	1,033	1,300	1,300	0,914	1,152

Observa-se que o *G. cuvier* apresenta grande variabilidade de medições em ambos os lados. A localização da mediana permite separar as espécies em dois grupos distintos: *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus*; *C. leucas*, *G. cuvier* e *S. mokarran* (Figura 42).

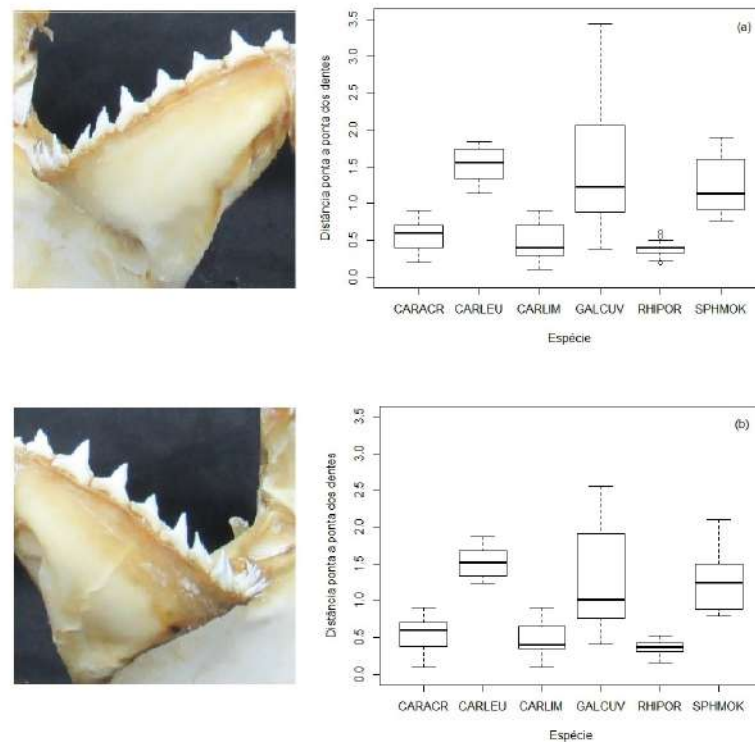


Figura 42 – Box-plot para as distâncias entre uma ponta e outra dos dentes nas imagens 2D: (a) lado inferior esquerda; (b) lado inferior direita.

De modo análogo as demais medidas analisadas anteriormente, as medições não são normalmente distribuídas ($p - \text{valor} < 0,001$), as variâncias são heterogêneas ($p - \text{valor} < 0,001$). Tornou-se, deste modo, imprescindível a realização do teste de Kruskal-Wallis para a distância ponta a ponta dos dentes, constatando, assim, similaridade entre as espécies em estudo ($p - \text{valor} < 0,001$).

A partir do teste de comparação múltipla de Nemenyi, pode-se afirmar que existe diferença estatisticamente significativa para a altura dos dentes inferiores, tanto para os localizados na mandíbula superior esquerda quanto direita. É importante destacar que as espécies semelhantes, em relação à distância entre uma ponta a outra, são: *C. leucas* com *G. cuvier* e *S. mokarran*, *C. limbatus* com *C. acronotus* (Tabela 33).

Tabela 33 – Teste de comparação múltipla de Nemenyi para as distâncias de uma ponta a outra de dos dentes inferiores - Imagem 2D

		CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
Esquerdo	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,538	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	0,882	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,008	< 0,0001	0,783	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	0,943	< 0,0001	1,000	< 0,0001
Direito	CARLEU	< 0,0001	-	-	-	-
	CARLIM	0,834	< 0,0001	-	-	-
	GALCUV	< 0,0001	0,998	< 0,0001	-	-
	RHIPOR	0,668	< 0,0001	0,132	< 0,0001	-
	SPHMOK	< 0,0001	0,412	0,006	0,558	< 0,0001

6.3 Dentes - contorno fechado

6.3.1 Mandíbula superior

O contorno médio da forma dos dentes baseado nos coeficientes da análise de fourier elíptica pode ser visto na Figura 43.

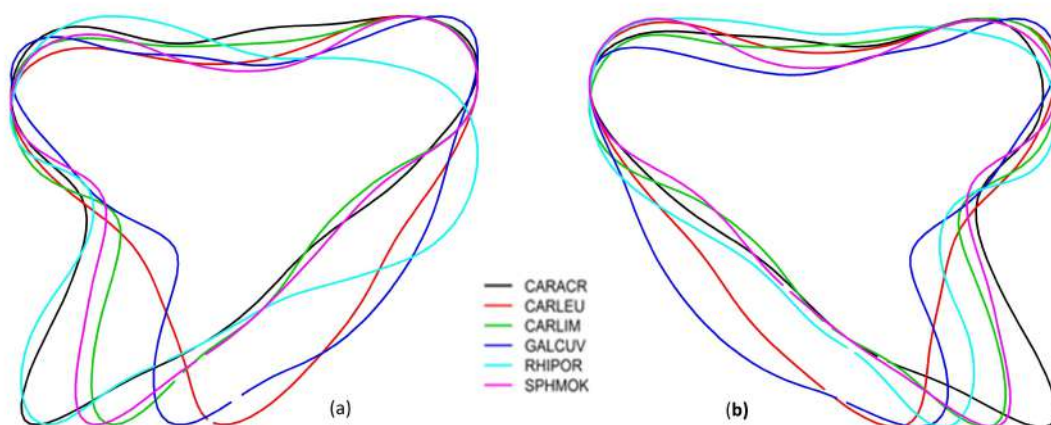


Figura 43 – Contorno médio, por espécie, das formas dos dentes superiores utilizando os coeficientes da análise de fourier elíptica para os dentes do lado: (a) esquerdo e; (b) direito

A fim de reduzir a dimensionalidade dos dados, foi utilizada a análise de componentes principais. Foram utilizados 3 componentes que explicam, aproximadamente, 70% da variabilidade dos dentes superiores em ambos os lados (Tabela 34).

Tabela 34 – Componentes principais utilizadas com variância e variância acumulada para os dentes da mandíbula superior: (a) lado esquerdo; (b) lado direito

	Componente principal	% Variância	% Variância acumulada
Esquerdo	1	32,84	32,84
	2	24,29	57,13
	3	15,79	72,92
Direito	1	39,37	39,37
	2	25,72	65,09
	3	11,05	76,14

A fim de identificar se existe diferença estatisticamente significativa entre os coeficientes obtidos, foi utilizada a análise de variância multivariada - MANOVA, visto que esses coeficientes são ortonormais. De acordo com a Tabela 35, existe diferença estatisticamente significativa ($p\text{-valor} < 0,001$), entre as espécies estudadas, em relação ao contorno médio dos dentes superiores de ambos os lados.

Tabela 35 – Análise de Variância Multivariada para os dentes superior - lado esquerdo e direito

	Fonte de variação	Df	Hotelling-Lawley	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Esquerdo	Espécies	86,42	84,26	20	78	<0,001	
	Resíduos	24					
Direito	Espécies	495,44	483,05	20	78	<0,001	
	Resíduos	24					

A MANOVA detectou que existe diferença estatisticamente significativa entre os dentes de acordo com os componentes principais. A seguir, é apresentado o teste de TUKEY para identificar quais as espécies que diferem ou se assemelham, de acordo com o contorno da forma do dente para cada um dos quatro componentes principais.

Análise de Componente Principal

COMPONENTE PRINCIPAL 1

Se observado os dentes do lado esquerdo, é visível que são distintos, exceto quando há comparação entre: *S. mokarran* e *R. porosus* (p-valor = 0,620) e também *S. mokarran* e o *C. leucas* (p-valor = 0,150) (Figura 44). A semelhança dos dentes do *S. mokarran* com os do *R. porosus* se dá na base, enquanto que os do *S. mokarran* com os do *C. leucas* se assemelha no lado esquerdo da base do dente (Figura 45). O teste de Tukey não detectou similaridade entre a forma dos dentes superiores no lado direito, no primeiro componente principal (Figura 46).

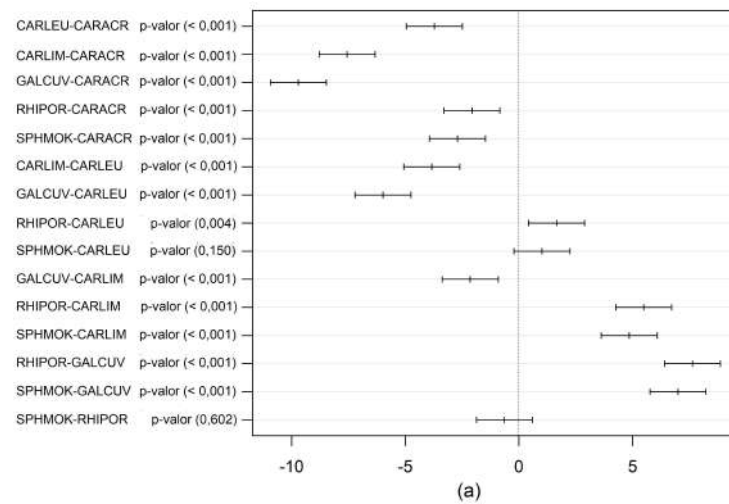


Figura 44 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes superiores - lado esquerdo

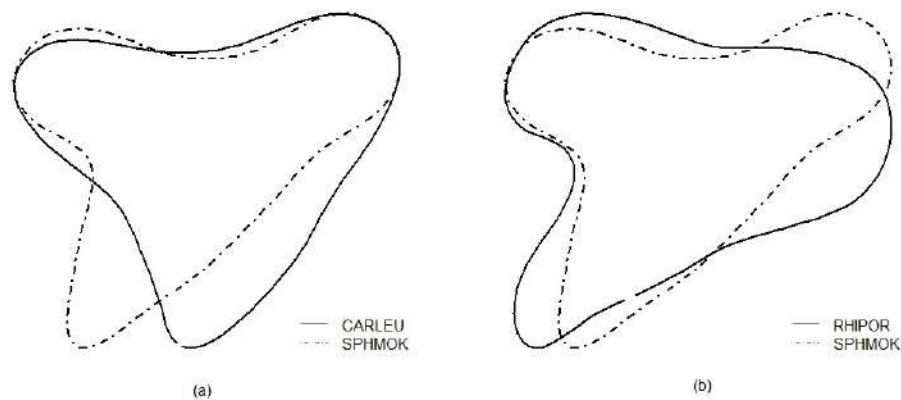


Figura 45 – Comparação da forma dos dentes superiores, extraída do CP1 - lado esquerdo:
(a) *S. mokarran* com *C. leucas*; (b) *S. mokarran* com os do *R. porosus*

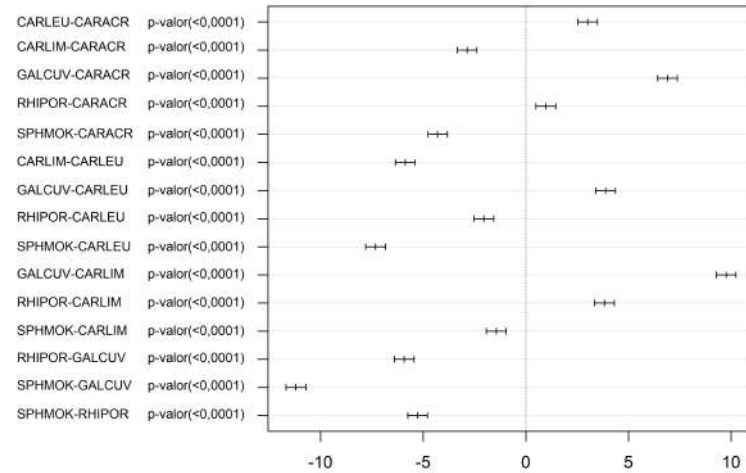


Figura 46 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes superiores - lado direito

COMPONENTE PRINCIPAL 2

Considerando o lado esquerdo, verifica-se similitude entre a forma de algumas espécies, por exemplo: *C. acronotus* e *G. cuvier*, nas extremidades das bases dos dentes (p-valor = 1,000); *C. acronotus* e *S. mokarran*, além das extremidades, destaca-se no lado direito (p-valor = 0,282); *C. limbatus* e *R. porosus*, extremidade esquerda da base (p-valor = 0,700); o *S. mokarran* e o *G. cuvier* assemelham-se na base (p-valor = 0,384) (Figura 47), (Figura 48). No lado direito, existe semelhança apenas entre o *C. acronotus* e o *C. limbatus* (p-valor = 1,000) (Figura 49) ao longo de toda a base dos dentes (Figura 50).

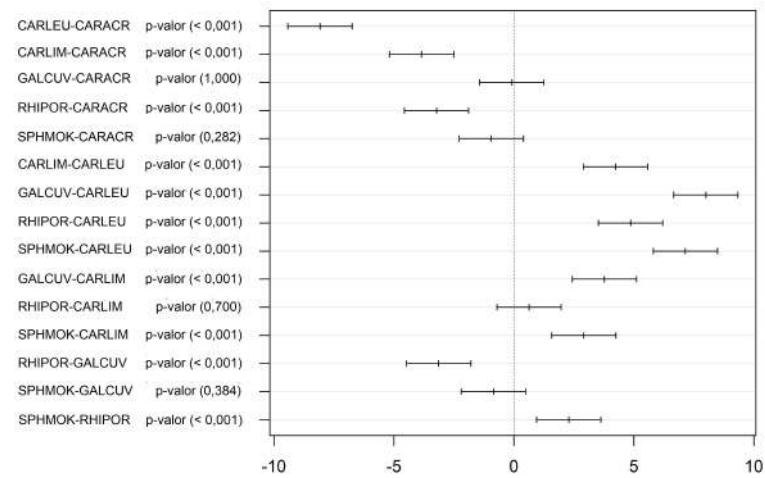


Figura 47 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes superiores - lado esquerdo

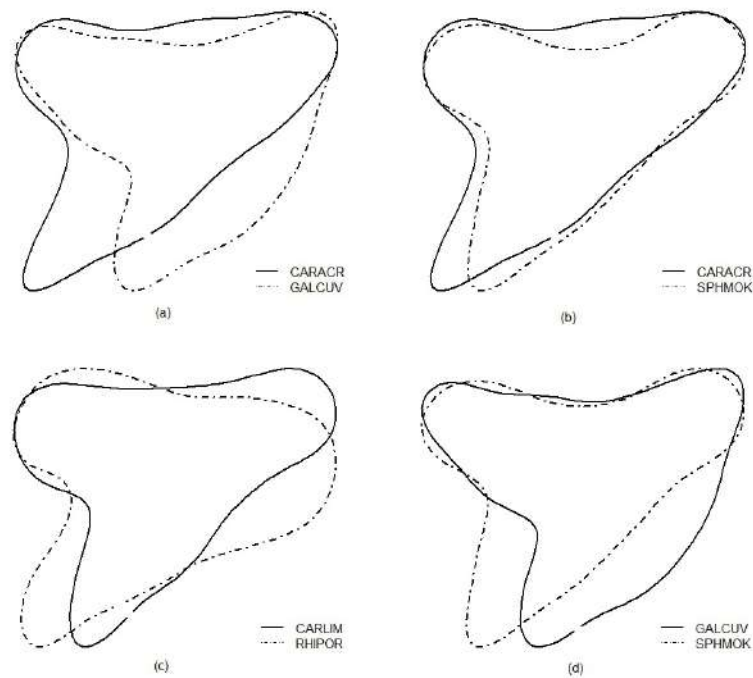


Figura 48 – Comparação da forma dos dentes superiores, extraída do CP2 - lado esquerdo: (a) *C. acronotus* com *G. cuvier*; (b) *C. acronotus* com *S. mokarran*; (c) *C. limbatus* com *R. porosus*; (d) *S. mokarran* com *G. cuvier*

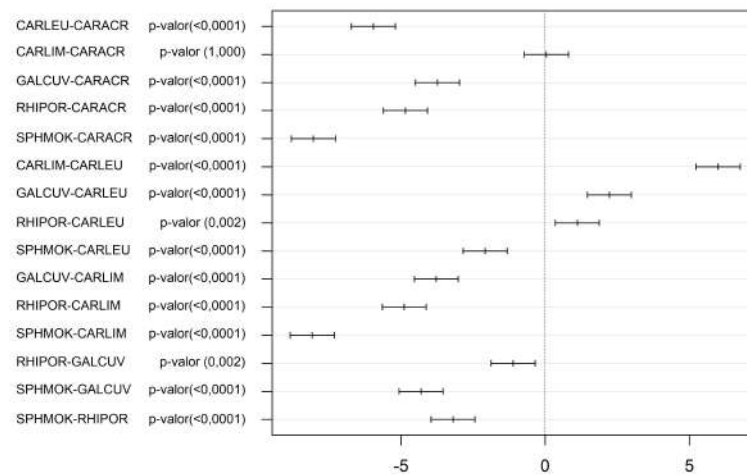


Figura 49 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes superiores - lado direito

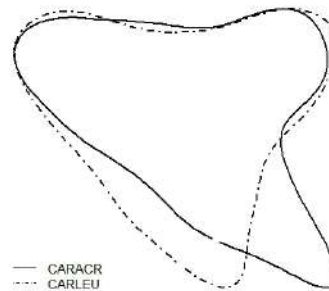


Figura 50 – Comparação da forma dos dentes superiores, para o CP2 - lado direito: *C. acronotus* com *C. leucas*

COMPONENTE PRINCIPAL 3

Assim como nos dois primeiros componentes, o terceiro também conseguiu identificar pontos nos quais existem similaridades entre as formas dos dentes das espécies estudadas. As parecências foram analisadas em ambos os lados, isoladamente. Lado esquerdo: *C. acronotus* com *R. porosus* (p-valor = 0,724) na extremidade esquerda da base e na ponta dos dentes; *C. acronotus* com *S. mokarran* (p-valor = 0,689) nas extremidades da base e lado direito; *C. leucas* com *G. cuvier* (p-valor = 0,999) na leve depressão da base; *S. mokarran* com *R. porosus* (p-valor = 0,999) na extremidade esquerda da base (Figura 51),

(Figura 52). Lado direito: *S. mokarran* e o *G. cuvier* (p-valor = 0,051) (Figura 53) ao longo da suave depressão da base, seguindo pela extremidade direita (Figura 54).

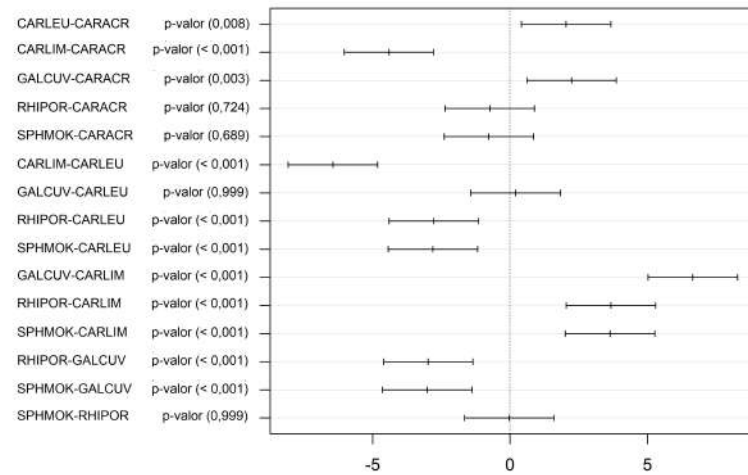


Figura 51 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes superiores - lado esquerdo

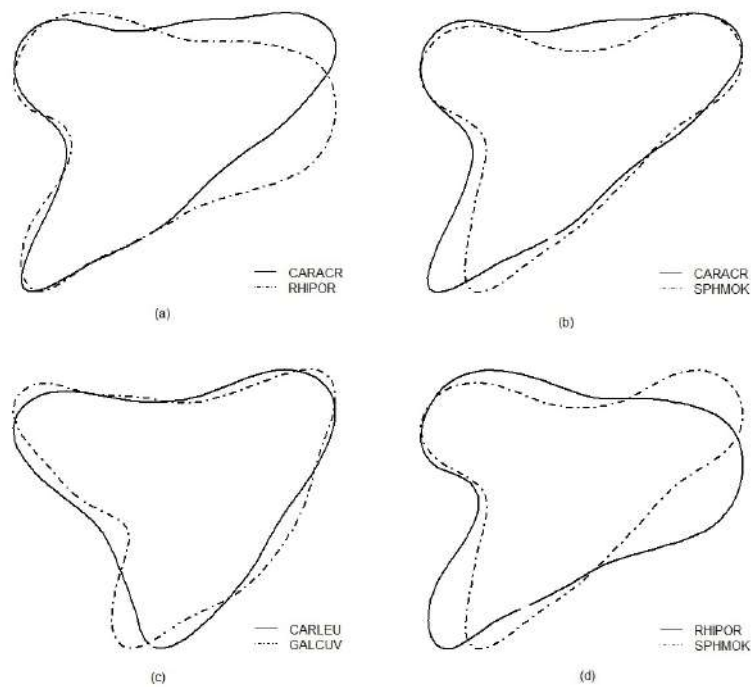


Figura 52 – Comparação da forma dos dentes superiores, extraída do CP3 - lado esquerdo: (a) *C. acronotus* com *R. porosus*; (b) *C. acronotus* com *S. mokarran*; (c) *C. leucas* com *G. cuvier*; (d) *S. mokarran* com *R. porosus*

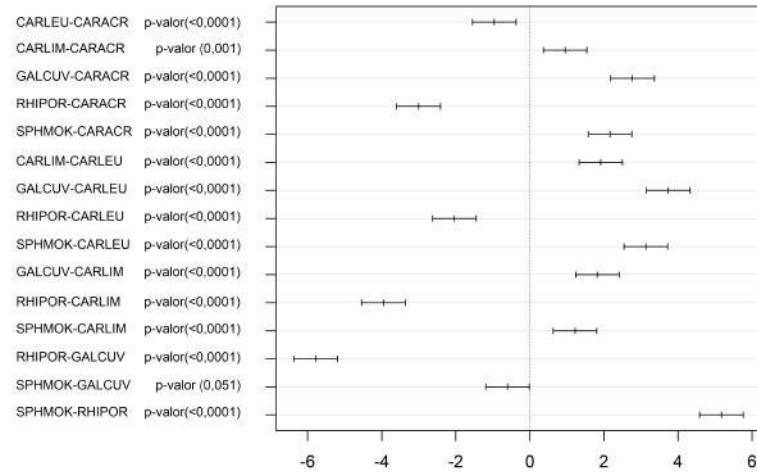


Figura 53 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes superiores - lado direito

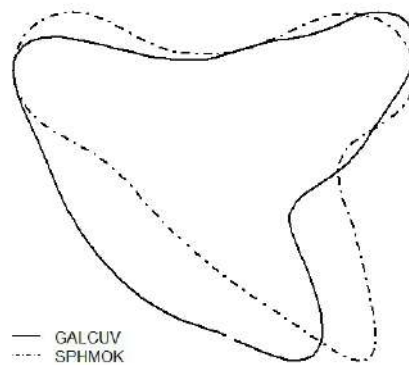


Figura 54 – Comparação da forma dos dentes superiores, para o CP3 - lado direito: *G. cuvier* com *S. mokarran*

6.3.2 Mandíbula inferior

O contorno médio da forma dos dentes baseado nos coeficientes da análise de fourier elíptica pode ser visto na Figura 55.

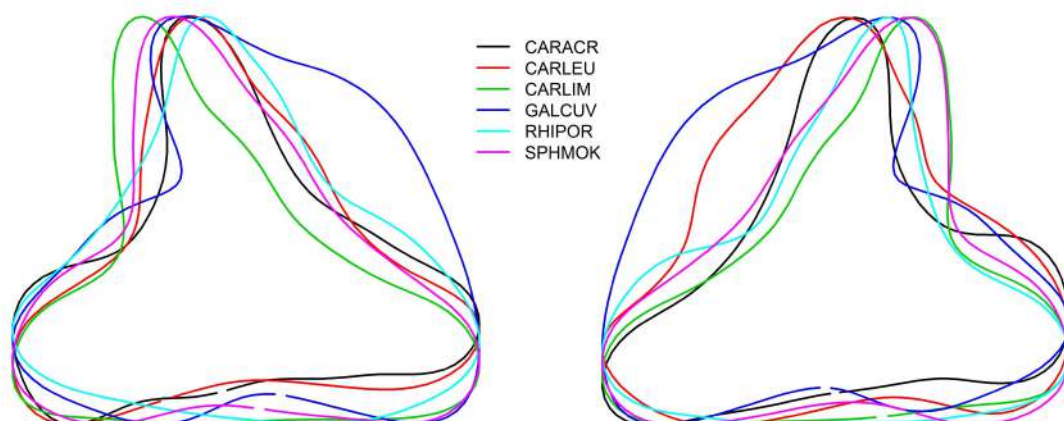


Figura 55 – Contorno médio da forma do dente inferior, utilizando-se os coeficientes da análise de fourier elíptica para os dentes do lado: (a) esquerdo e; (b) direito

Objetivando-se reduzir a dimensionalidade dos dados, foi utilizada a análise de componentes principais. Nesse sentido, foram utilizadas 3 componentes que explicam, aproximadamente, 75% da variabilidade dos dentes inferiores em ambos os lados (Tabela 36).

Tabela 36 – Componentes principais utilizados com variância e variância acumulada para os dentes da mandíbula superior: (a) lado esquerdo; (b) lado direito

	Componente principal	Variância (%)	Variância acumulada (%)
Esquerdo	1	32,5	32,5
	2	23,9	56,4
	3	15,6	72,0
Direito	1	38,5	38,5
	2	25,9	64,4
	3	10,6	75,0

A fim de identificar se existe diferença estatisticamente significativa entre os coeficientes obtidos foi realizada a análise de variância multivariada – MANOVA. De acordo com a Tabela 37, existe diferença estatisticamente significativa ($p\text{-valor} < 0,001$) entre o contorno médio dos dentes das espécies estudadas para os dentes inferiores em ambos os lados. A seguir, é apresentado o teste de Tukey para identificar quais as espécies que diferem ou se assemelham, de acordo com o contorno da forma do dente para cada um dos quatro componentes principais.

Tabela 37 – Análise de variância multivariada para os dentes inferiores - lado esquerdo e direito

	Fonte de Variação	Df	Hotelling-Lawley	approx F	num Df	den Df	Pr(>F)
Esquerdo	Espécies	5	331,88	323,58	20	78	< 0,001
	Residuals	24					
Direito	Esp	5	446,7	435,54	20	78	< 0,001
	Residuals	24					

Análise de Componente Principal

COMPONENTE PRINCIPAL 1

Identifica-se no lado esquerdo que apenas o *R. porosus* se assemelha ao *S. mokarran* (p-valor = 0,174) (Figura 56) em suas extremidades (Figura 57). Enquanto que no lado direito o *C. acronotus* coincide com o *C. leucas* (p-valor = 0,328) (Figura 58) na extremidade direita da base e na ponta dos dentes (Figura 59).

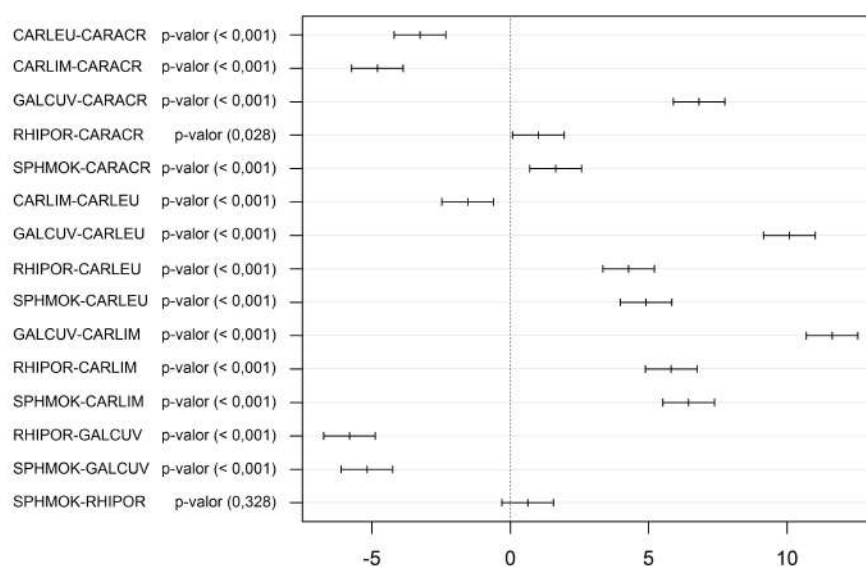


Figura 56 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes inferiores - lado esquerdo

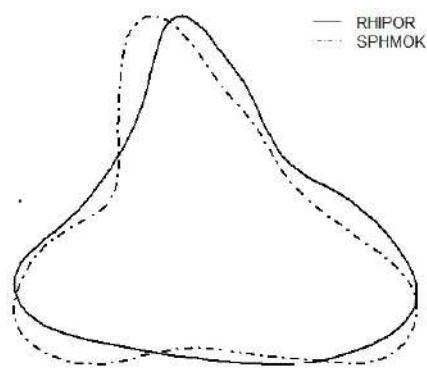


Figura 57 – Comparação da forma dos dentes inferiores, extraída do CP1 - lado esquerdo: *S. mokarran* com *R. porosus*

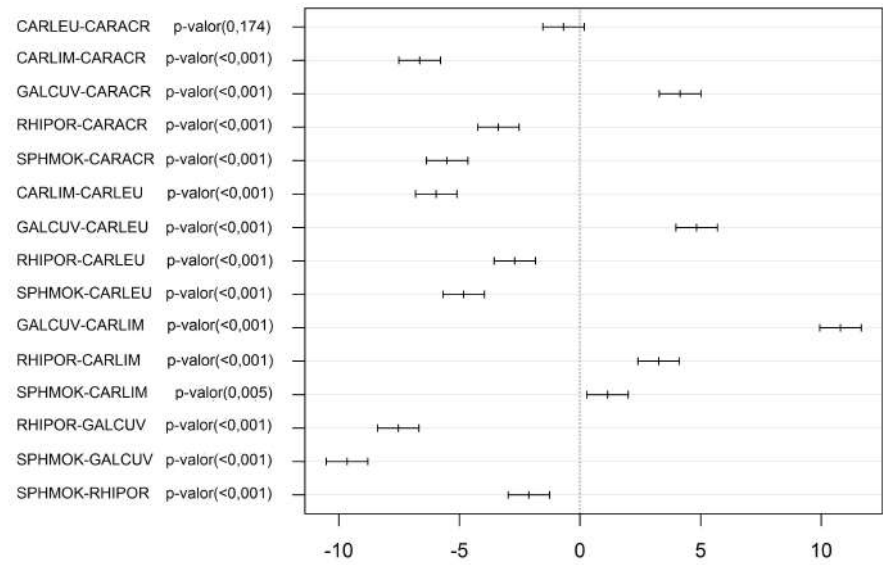


Figura 58 – Teste de Tukey para o CP1 baseado nos dentes inferiores - lado direito

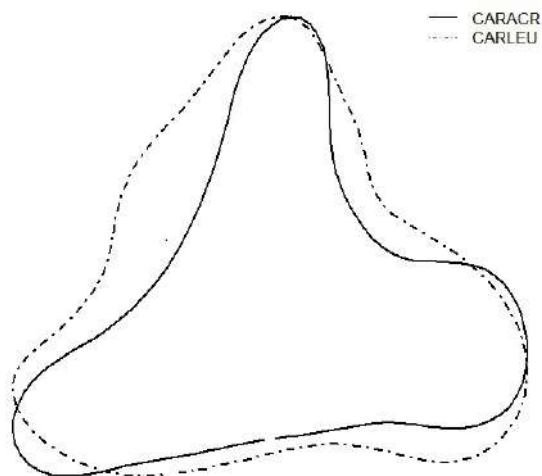


Figura 59 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP1 - lado direito: *C. acronotus* com os do *C. leucas*

COMPONENTE PRINCIPAL 2

O *R. porosus* é similar ao *C. acronotus* no lado esquerdo (p-valor = 0,898) das extremidades das bases e no lado direito (p-valor = 0,999) na base do lado esquerdo (Figura 62), (Figura 63). Além dessas similaridades, vale ressaltar que o *C. leucas* apresenta extremidade esquerda parecida com a do *C. limbatus* (p-valor = 0,999) (Figura 60), (Figura 61).

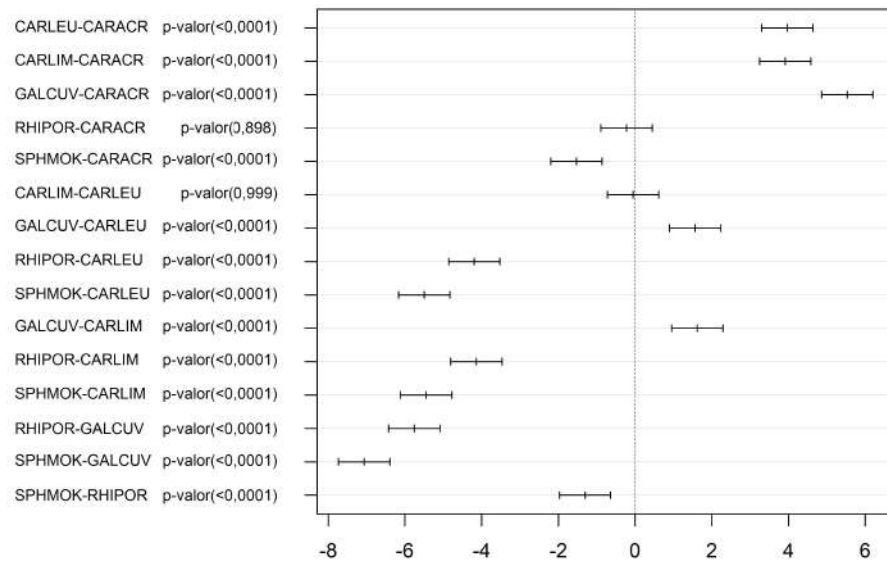


Figura 60 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes inferiores - lado esquerdo

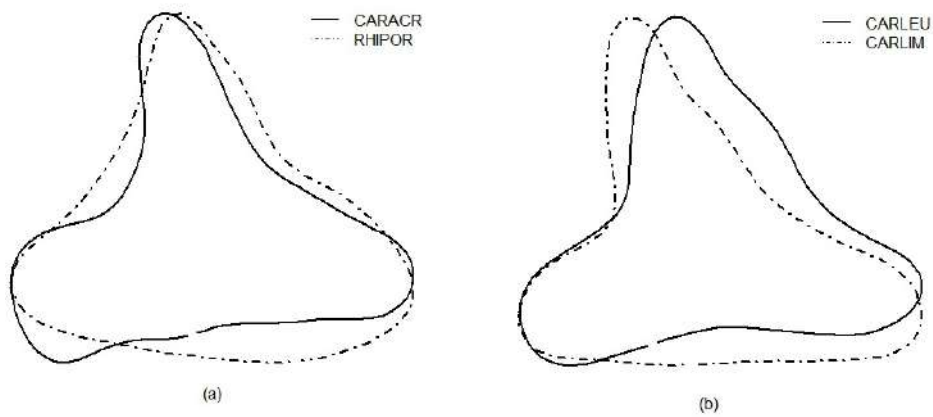


Figura 61 – Comparação da forma dos dentes inferiores, extraída do CP2 - lado esquerdo:
(a) *C. acronotus* com *R. porosus*; (b) *C. leucas* com *C. limbatus*

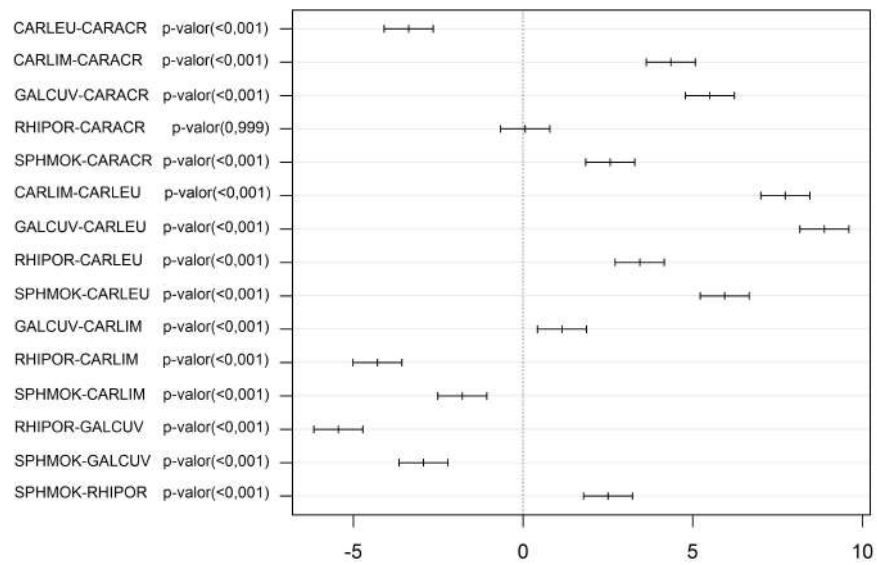


Figura 62 – Teste de Tukey para o CP2 baseado nos dentes inferiores - lado direito

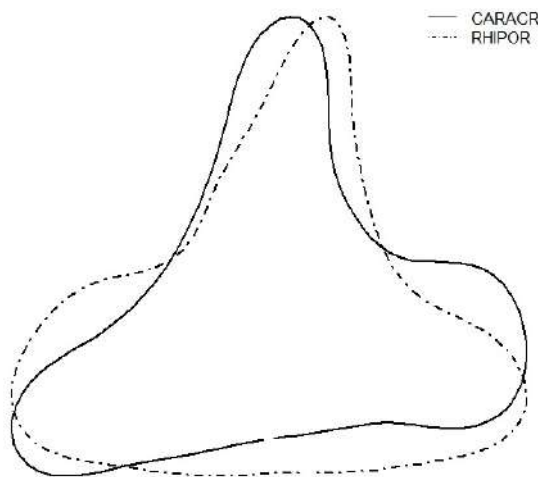


Figura 63 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP2 - lado direito: *C. acronotus* com *R. porosus*

COMPONENTE PRINCIPAL 3

Diferentemente dos primeiros componentes, o terceiro é sensível às semelhanças, uma vez que consegue captar sutis similaridades entre as espécies. As igualdades no lado esquerdo são identificadas entre: *C. acronotus* com *G. cuvier* (p-valor = 0,999) e *C. leucas* com *R. porosus* (p-valor = 0,246), ambos na extremidade direita da base e ponta dos dentes; *C. limbatus* com *G. cuvier* (p-valor = 0,071) e *S. mokarran* com *C. limbatus* (p-valor = 0,998) ambos pela similaridade ao longo de toda a base dos dentes (Figura 64), (Figura 65). Já no lado direito, a similaridade se dá ao longo da base dos dentes entre: *C. leucas* com *G. cuvier* (p-valor = 0,769), *C. leucas* com *S. mokarran* (p-valor = 0,999), *C. limbatus* com *R. porosus* (p-valor = 0,833), *R. porosus* com *G. cuvier* (p-valor = 0,491) e *S. mokarran* com *G. cuvier* (p-valor = 0,728) (Figura 66), (Figura 67).

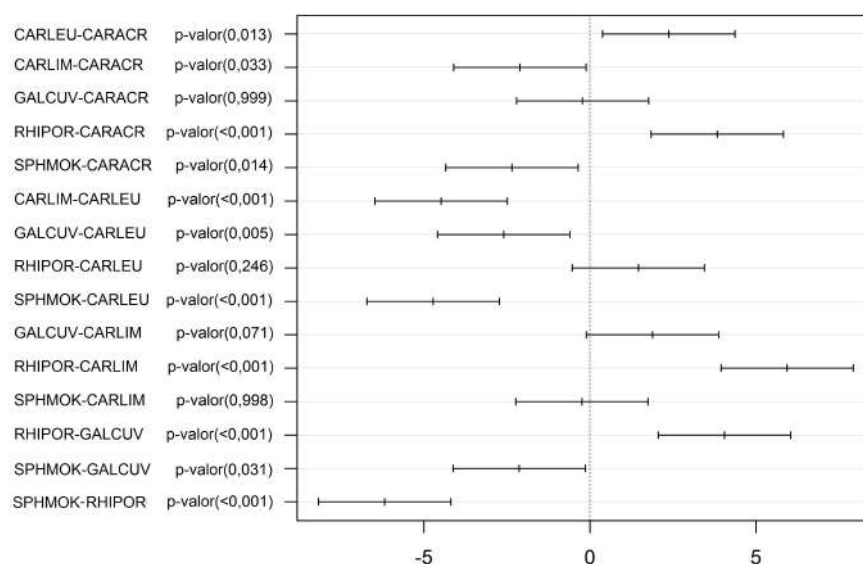


Figura 64 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes inferiores - lado esquerdo

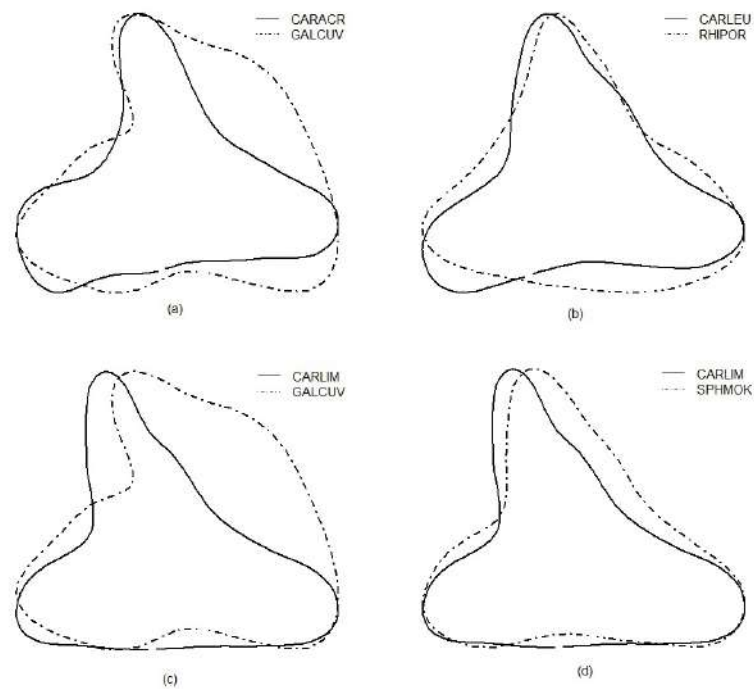


Figura 65 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP3 - lado esquerdo: (a) *C. acronotus* com *G. cuvier*; (b) *C. leucas* com *R. porosus*; (c) *C. limbatus* com *G. cuvier*; (d) *S. mokarran* com *C. limbatus*

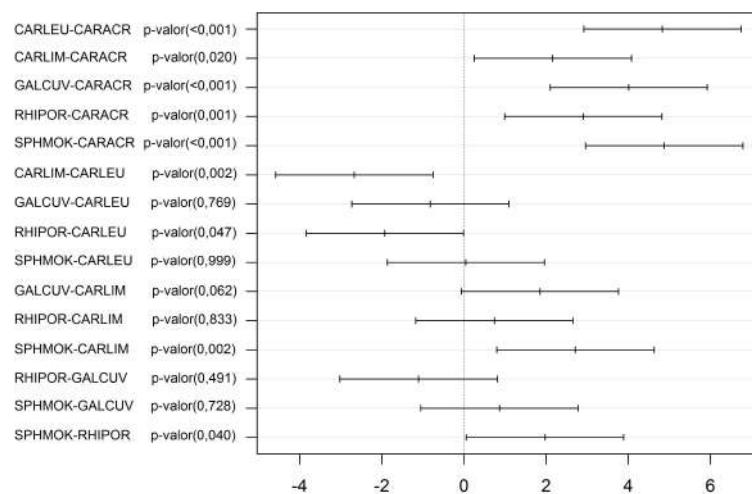


Figura 66 – Teste de Tukey para o CP3 baseado nos dentes inferiores - lado direito

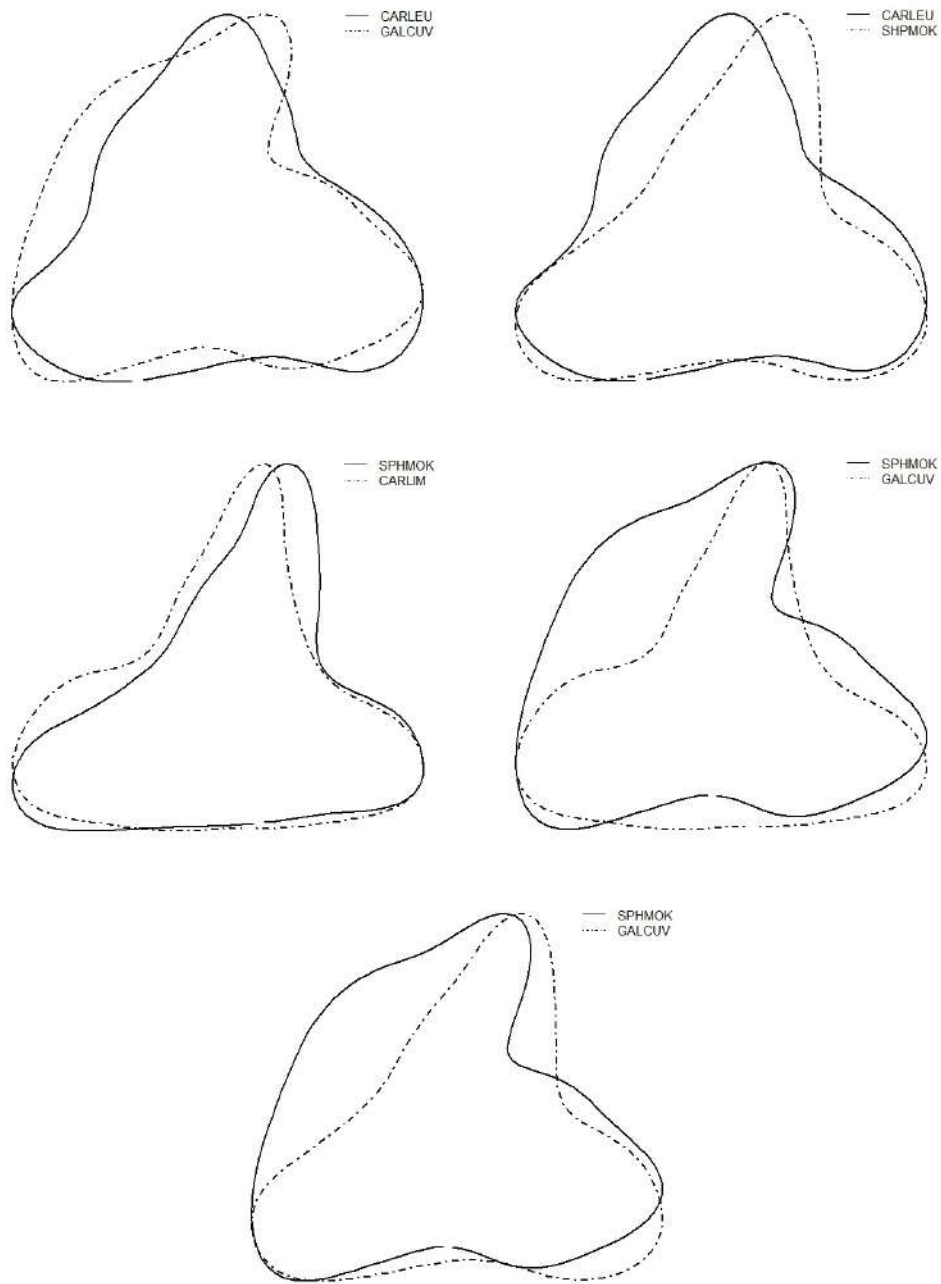


Figura 67 – Comparação da forma dos dentes inferiores, para o CP3 - lado direito: (a) *C. leucas* com *G. cuvier*; (b) *C. leucas* com *S. mokarran*; (c) *C. limbatus* com *R. porosus*; (d) *R. porosus* com *G. cuvier* e; (e) *S. mokarran* com *G. cuvier*

6.4 Considerações

A aplicação na análise morfométrica forense 2D tem sido amplamente utilizada na identificação de dimorfismo sexual (FRANKLIN et al., 2012), (SIDHU et al., 2014) e na identificação de raça em humanos (BUCK; VIDARSDOTTIR, 2004). Essa linha de investigação é importante para biologia pesqueira, amplamente utilizada em estudos taxonômicos e sistemáticos, dentre outras razões, devido a sua percepção de similaridades e diferenças entre os grupos em estudo. As análises iniciais se baseavam apenas no comparativo das medidas, uma a uma. Porém, os resultados obtidos no presente estudo mostram que a diferenciação entre espécies com base na análise bidimensional não pode ser feita apenas com uma única estrutura ou medida.

Com o atual desenvolvimento computacional e a utilização de ferramentas estatísticas multivariadas – tais como: análise de agrupamento, funções discriminantes e componentes principais – torna-se viável a avaliação simultânea de diferentes pontos de variação, bem como a co-variação entre as medidas. Entretanto, o pequeno tamanho amostral restringe a análise, impossibilitando a comparação simultaneamente dos dentes das arcadas.

Embora de suma importância pela contribuição à comunidade científica, o estudo desenvolvido por Duarte-Neto et al. (2019) possui limitação quanto ao tamanho amostral, composto por apenas 14 indivíduos de 5 espécies, inviabilizando conclusões precisas sobre as similaridades ou dissimilaridades entre elas. Além disso, a análise de similitude entre as espécies foi baseada em 21 *landmarks* ao redor de toda a arcada, sem fazer distinção entre mandíbula superior e inferior. Em contrapartida, de caráter complementar, o atual estudo foi desenvolvido com 31 indivíduos de 6 espécies, analisando-se, separadamente, a mandíbula superior e inferior de cada arcada e, para isso, foram considerados apenas 5 *landmarks* em cada uma delas. Contudo, é importante enaltecer que, apesar das dificuldades amostrais e diferenças metodológicas, foi possível obter, coincidentemente, certa semelhança nos resultados em ambos os estudos.

De forma análoga ao estudo de Duarte-Neto et al. (2019), foram consideradas apenas duas variáveis canônicas, constatando similaridade entre o *C. acronotus* e o *C. limbatus*. Destaca-se, ainda, as semelhanças exclusivas das espécies de tubarão vinculadas à família Carcharhinidae por estarem posicionadas na área central horizontal, de modo que suas diferenças podem ser observadas pela primeira variável canônica.

A forma específica da cabeça do *S. lewini* contribui para que sua mandíbula divirja das demais analisadas (DUARTE-NETO et al., 2019). No entanto, ao realizar as análises, foi identificada uma característica semelhante das formas das arcadas dos animais de

grande porte – *G. cuvier*, *C. leucas* e *S. mokarran* – um formato mais quadrado. Por outro lado, os de pequeno porte – *C. acronotus*, *C. limbatus* e o *R. posorus* – possuem formas mais abertas. Nesse sentido, além da semelhança em relação ao formato da arcada, o *G. cuvier* e o *C. leucas* possuem semelhança na alimentação, muito embora estas espécies sejam de gêneros distintos.

Apesar do *G. cuvier* apresentar as maiores medições das distâncias interdentais – largura, altura e ponta a ponta – e possuir um forma peculiar dos seus dentes, são notadas algumas similaridades nessas medidas obtidas diretamente das arcadas. Porém, as medições da largura dos dentes esquerdos são boas métricas para distinguir o *G. cuvier* do *C. leucas* – no lado superior, e *C. acronotus* do *C. limbatus* – lado inferior. A distância entre uma ponta e outra dos dentes esquerdos também podem ser usados para distinguir o *G. cuvier* do *C. leucas* – no lado superior, e *C. acronotus* do *R. porosus* – lado inferior. Destaca-se, ainda, que a altura não é uma métrica indicada para diferenciar espécies.

Sabe-se que a análise de Fourier é bastante utilizada para descrever a forma de um contorno fechado, porém a interpretação dos coeficientes é bem subjetiva (CADRIN; FRIEDLAND, 1999). No presente estudo, foi utilizada a análise de componentes principais para reduzir a dimensionalidade dos dados e facilitar a interpretação dos resultados obtidos. Cullen e Marshall (2019), ao desenvolver seu estudo, utilizou a Análise de Fourier Elíptica em apenas 3 espécies com 6 posições distintas dos dentes devido a heterodontia. Portanto, as semelhanças encontradas entre as espécies no atual estudo não devem ser enxergadas como evidência concreta, provada e testada. É preciso uma abordagem mais meticulosa para a identificação das espécies por meio do contorno fechado dos dentes devido às características individuais em estudo como: sexo, idade, posição e lado da mandíbula – uma vez que podem contribuir para explicar diferenças morfológicas dentro de uma mesma espécie.

7 Resultados - Imagem 3D

7.1 Contorno das mandíbulas

7.1.1 Mandíbula superior

A variação entre os grupos, escalonada pelo inverso da variação dentro do grupo, pode ser vista na Tabela 38. As duas primeiras variáveis canônicas explicam aproximadamente 87% da variabilidade total da forma do contorno da mandíbula superior. Observa-se, ainda, que a primeira variável explica sozinha aproximadamente 70% dessa variação.

Tabela 38 – Variação entre os grupos, na mandíbula superior - Imagem 3D

Variável canônica	Autovalores	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	2,241	68,412	68,412
2	0,628	19,181	87,593
3	0,274	8,363	95,956
4	0,132	4,044	100,000

As mudanças de forma associadas às variáveis canônicas podem ser vistas na Figura 68. Iniciando a análise baseando-se na variação que está diretamente associada a primeira variável canônica é possível notar que existe variação nos *landmarks* centrais (2, 3 e 4). Em contrapartida, a variação relacionada a segunda variável canônica se dá em todos os *landmarks*. Logo, a primeira variável tem relação direta com uma mandíbula mais estreita e pontuda, ao mesmo tempo em que a segunda fornece um contorno mais aberto e quadrado.

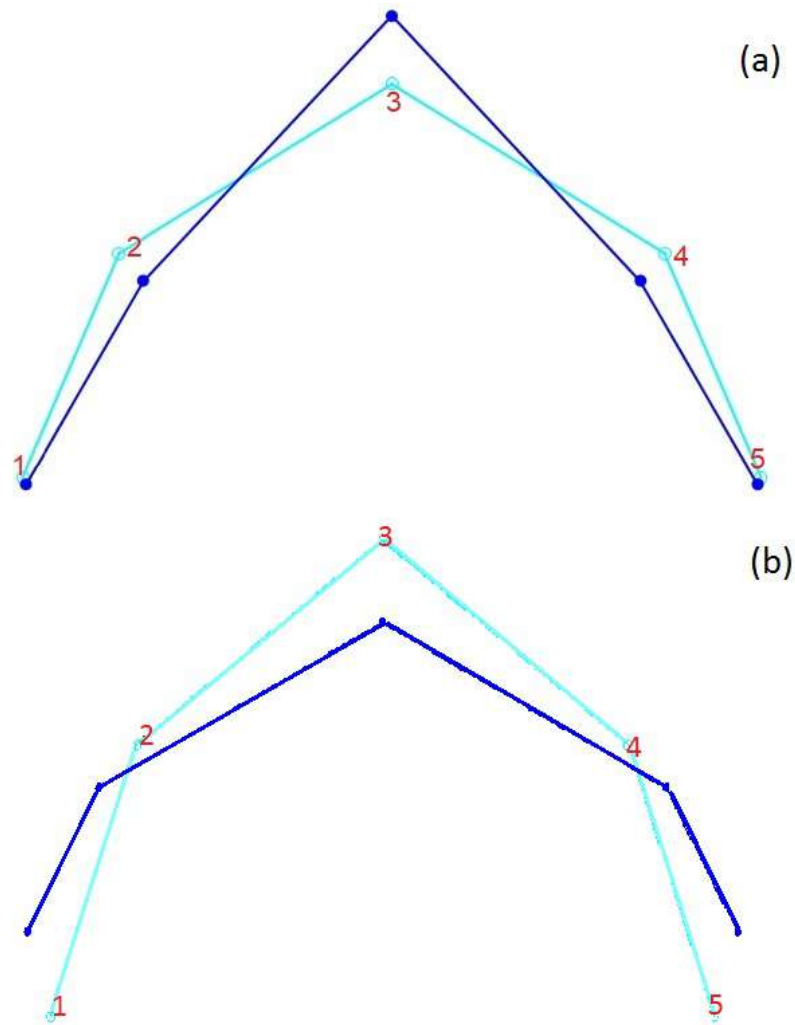


Figura 68 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno nas imagens 3D das mandíbula superior. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.

De acordo com o gráfico de dispersão dos escores dos CV's, pode-se notar a formação de dois grupos: escores positivos: *C. acronotus*, *C. limbatus* e *R. porosus*; e escores negativos: *C. leucas*, *G. cuvier* e *S. mokarran*. Com destaque para o *R. porosus* por apresentarem escores positivos e negativos próximos ao valor nominal (Figura 69).

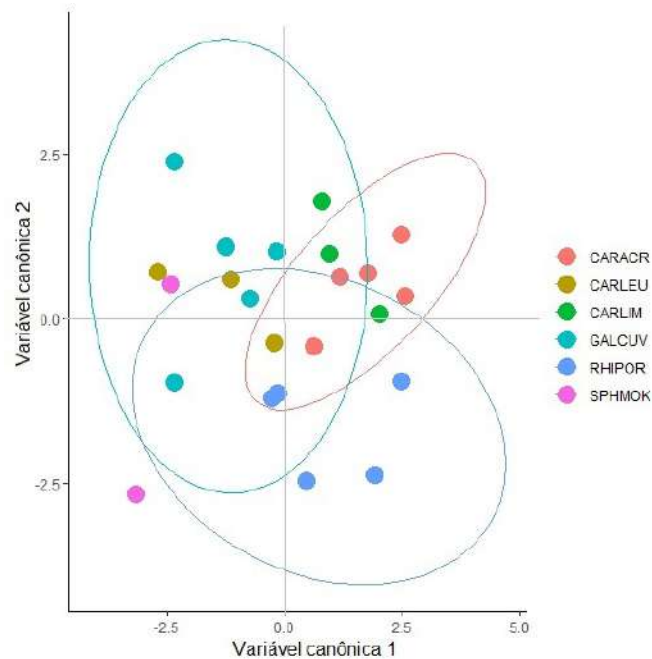


Figura 69 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 - mandíbula superior - imagem 3D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.

De acordo com as distâncias de Procrustes, o *C. leucas* é semelhante ao *C. limbatus* (0,002). Destaca-se, ainda, que o *G. cuvier* é bastante diferente do *R. porosus* (0,150). Dentro da perspectiva 3D, é verificado que o *C. acronotus* se assemelha mais ao *C. leucas* (0,085) do que com o *R. porosus* (0,105). É possível identificar, também, que o *S. mokarran* difere do *R. porosus* (0,132) (Tabela 39).

Tabela 39 – Distância de Procruste para a mandíbula superior - Imagem 3D

	CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
CARLEU	0,085				
CARLIM	0,034	0,002			
GALCUV	0,064	0,045	0,065		
RHIPOR	0,105	0,125	0,091	0,150	
SPHMOK	0,116	0,105	0,115	0,080	0,132

A taxa de classificação correta entre a comparação das espécies, tendo as imagens 3D das mandíbulas superiores como referência, é alta para o *C. acronotus*, visto que ele difere em 100% dos casos das espécies: *C. leucas* e *S. mokarran*. O *C. limbatus* se diferencia

do *C. acronotus*, apresentando taxa de acerto de 75%. Porém, apresenta baixa taxa de acerto, se confundindo com o *C. leucas* em todos os casos (Tabela 40).

Tabela 40 – Matriz de classificação para análise discriminante da mandíbula superior (%) - Imagem 3D

	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR	SPHMOK
CARACR	100,00	75,00	75,00	50,00	100,00
CARLEU	-	0,00	66,67	66,67	66,67
CARLIM	-	-	50,00	50,00	75,00
GALCUV	-	-	-	60,00	60,00
RHIPOR	-	-	-	-	40,00

7.1.2 Mandíbula inferior

A variável canônica 1 explica 82% da variabilidade total da forma, como pode ser visto na Tabela 41, composta pela variação entre os grupos, escalonada pelo inverso da variação dentro do grupo. Destaca-se, ainda, que as duas primeiras variáveis canônicas explicam conjuntamente 99% da variabilidade total associada à forma do contorno das mandíbulas inferiores baseados nas imagens 3D.

Tabela 41 – Variação entre os grupos - mandíbula inferior - Imagem 3D

Variável canônica	Autovalores	Variância (%)	Variância acumulada (%)
1	5,567	82,093	82,093
2	1,163	17,147	99,240
3	0,040	0,583	99,823
4	0,01	0,18	100,00

As mudanças de forma associadas às variáveis canônicas podem ser vistas na Figura 35. Para a primeira variável canônica, é possível perceber que existe variação em todos os *landmarks* associados à forma do contorno da mandíbula inferior. Neste mesmo sentido, a variação associada a segunda variável canônica é maior na sínfise. Pode-se pensar que a primeira variável assume uma forma mais quadrada, enquanto que a segunda tem um contorno mais achatado.

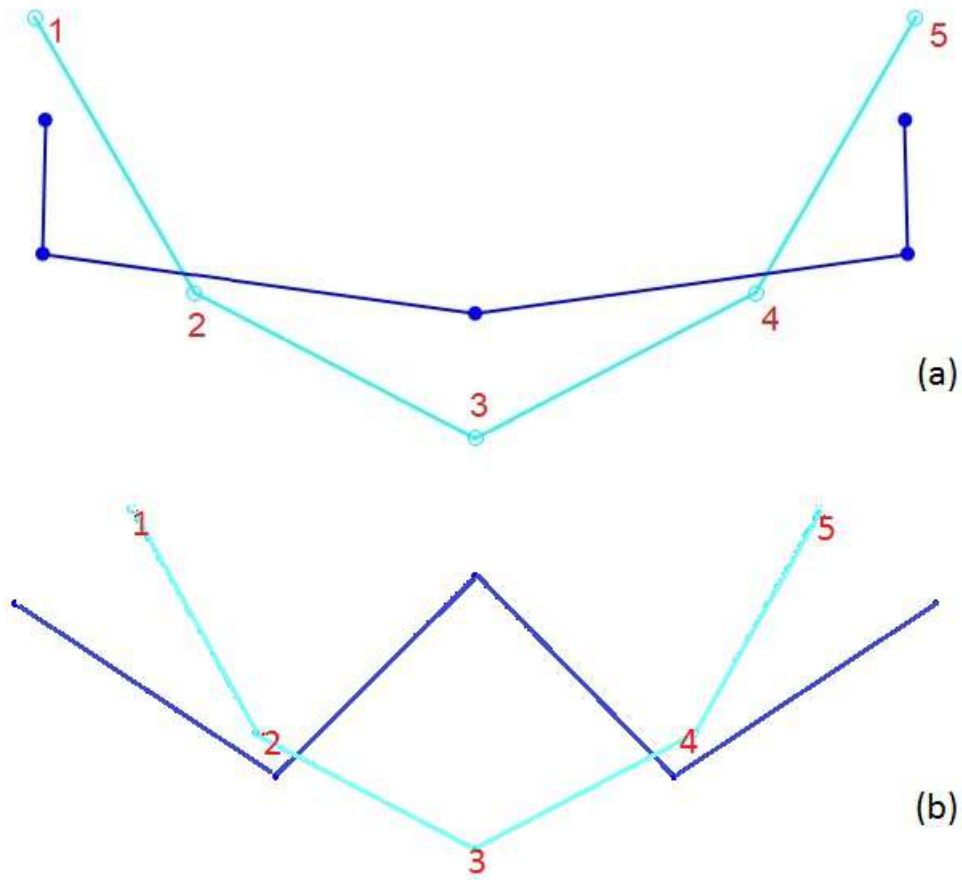


Figura 70 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno nas imagens 3D das mandíbulas inferiores. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a: (a) primeira variável canônica e; (b) segunda variável canônica.

De acordo com o gráfico de dispersão dos escores dos CV's, pode-se notar a formação de dois grupos: escores negativo *R. porosus*, *C. limbatus* e *C. acronotus*; e escores positivos *G. cuvier*, *S. mokarran*. Com destaque para o *C. leucas* por apresentar escores positivos e negativos (Figura 71).

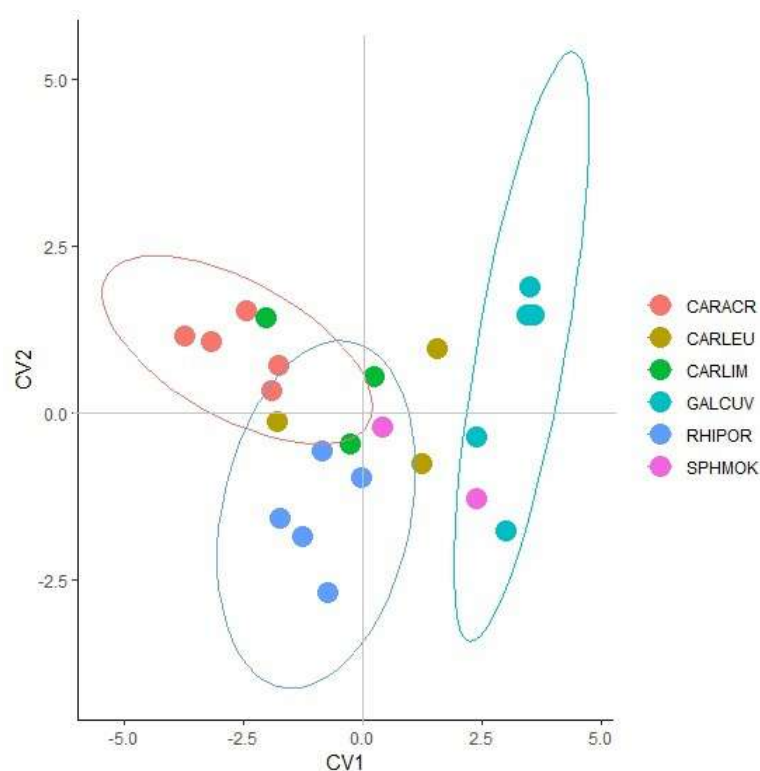


Figura 71 – Diagrama de dispersão dos escores da variável canônica 1 versus variável canônica 2 - mandíbula inferior - Imagem 3D. As elipses representam a região de confiança com nível de significância de 0,05.

De acordo com as distâncias de Procrustes o *C. limbatus* é semelhante ao *C. leucas* (0,03). Evidencia-se, ainda, que o *R. porosus* é bastante diferente do *G. cuvier* (0,215). Fica evidenciado, ademais, que existe certa similaridade entre o *C. acronotus* e o *C. limbatus* (0,072), assim como o *C. limbatus* e o *S. mokarran* (0,07) (Tabela 42).

Tabela 42 – Distância de Procruste para a mandíbula inferior - Imagem 3D

	CARACR	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR
CARLEU	0,095				
CARLIM	0,072	0,030			
GALCUV	0,198	0,113	0,131		
RHIPOR	0,126	0,116	0,118	0,215	
SPHMOK	0,134	0,045	0,070	0,104	0,113

A taxa de classificação correta entre a comparação das espécies, tendo os moldes superiores como referência, é alta para o *C. acronotus*, visto que ele difere em 100% dos

casos das espécies *G. cuvier*, *R. porosus* e *S. mokarran*. O *C. leucas* apresentou baixa taxa de acerto em comparação às demais, exceto para *C. acronotus* (Tabela 43).

Tabela 43 – Matriz de classificação para análise discriminante da mandíbulas inferiores (%) - Imagem 3D

	CARLEU	CARLIM	GALCUV	RHIPOR	SPHMOK
CARACR	60,000	60,000	100,000	100,000	80,000
CARLEU	-	0,000	33,333	33,333	33,333
CARLIM	-	-	100,000	66,667	33,333
GALCUV	-	-	-	80,000	40,000
RHIPOR	-	-	-	-	80,000

7.2 Considerações

Em morfometria geométrica, conjuntos de dados tridimensionais vêm ganhando destaque e espaço no meio científico. Pode-se destacar alguns trabalhos que usaram morfometria geométrica por meio de dados em 3D: em organismos biológicos (MITTEROECKER; GUNZ, 2009) e em características humanas (CHEN; BHANU, 2005), (SLICE, 2006), (LIU et al., 2015), (CINTAS et al., 2016).

Foram consideradas apenas duas variáveis canônicas que conseguem explicar grande parte da variabilidade associada à forma do contorno das mandíbulas superiores e inferiores. A primeira variável, que detém maior percentual de variância, consegue identificar as diferenças que podem ser encontradas pelos indivíduos que fazem parte da família Carcharhinidae, uma vez que seus escores estão posicionados na região central no eixo horizontal.

Com relação à forma, têm-se que os animais classificados como grande porte possuem a mandíbula superior aberta e quadrada ao passo em que as de pequeno porte são mais estreitas e fechadas. Já a forma da mandíbula inferior é quadrada para os de grande porte e achatada para os de pequeno.

No tocante à análise de Procrustes, o *R. porosus* é a espécie que mais difere do *G. cuvier*, nas mandíbulas superiores e inferiores – tal diferença pode ser explicada pelos seus hábitos alimentares. O cação-frango é uma espécie de pequeno porte, considerado um predador oportunista, dado que sua alimentação está diretamente relacionada à disponibilidade de presas (SILVA; ALMEIDA, 2018), sendo, maioritariamente, piscívoro. Em contrapartida, o tubarão-tigre possui mandíbulas grandes e dentes oblíquos, podendo facilmente perfurar objetos duros como as carapaças das tartarugas.

A análise discriminante corroborou com os resultados obtidos na distância de Procruste, em que o *C. leucas* se confunde com o *C. limbatus*. Essas são espécies de grande porte, visto que, na mandíbula superior, seus dentes são triangulares e serrilhados, que rasgam, cortam e, obviamente, serram o alimento com facilidade; ao passo em que, na inferior, eles são apenas pontiagudos, tendo a função de prender as presas.

Destaca-se, ainda, que esses resultados são baseados apenas nos *landmarks* utilizados para traçar o contorno das mandíbulas, sendo de suma importância o acréscimo de outras informações para identificar os animal com a maior redução de incerteza.

8 Resultados - Comparação entre fontes de informações

8.1 Mandíbula superior

As análises realizadas são restritas a duas espécies (*C. acronotus* e *R. porosus*), o que possibilita comparar os resultados obtidos por meio de fontes de informações distintas – Imagens de moldes, Imagens 2D e Imagens 3D.

Inicialmente, foi observado deformação na forma do contorno das mandíbulas superiores. De acordo com a Figura 72, pode-se notar que os vetores de variação obtidos nas imagens 3D é semelhante aos das imagens 2D, apresentando maiores variações nas extremidades, sem variação na sínfise para as imagens 3D, diferindo do sentido da mudança nos 5 vetores dos moldes. Nota-se, ainda, que os vetores obtidos a partir das imagens 2D apresentam maior variação que os obtidos por meio das imagens dos moldes ou das 3D.

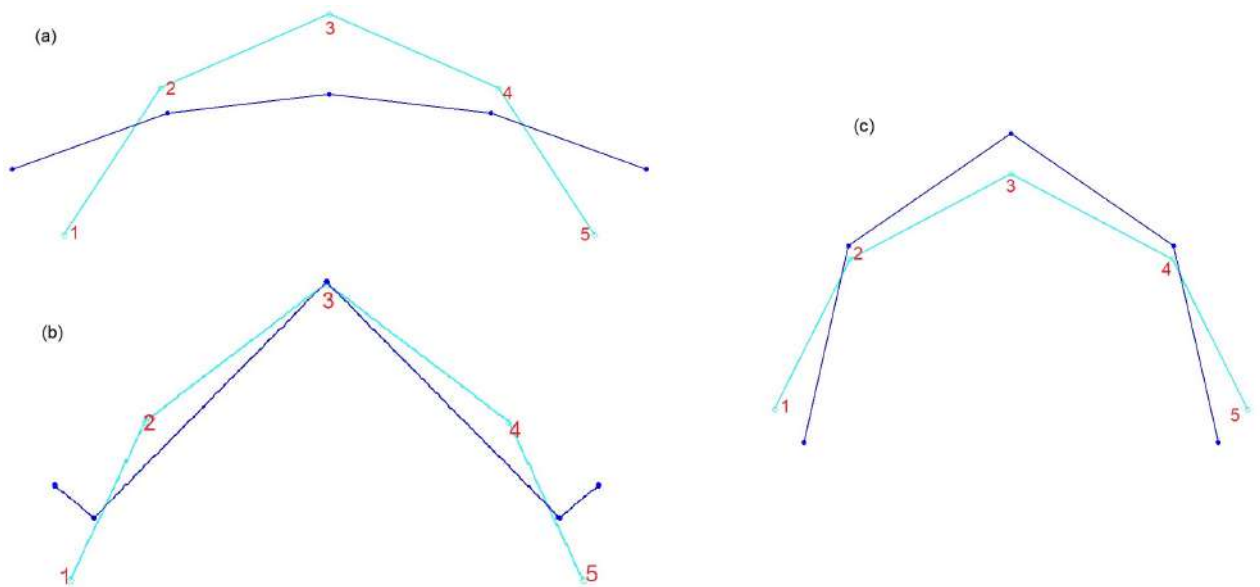


Figura 72 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno superior nas imagens: (a) 2D, (b) 3D e (c) Moldes. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a primeira variável canônica.

Em seguida, foi realizada a análise discriminante, com o objetivo de avaliar o método de obtenção de dados que apresenta a melhor taxa de classificação correta dos indivíduos. Para o contorno superior da mandíbula, a taxa de classificação correta das imagens 2D é a mesma que a das imagens dos moldes 75%, já as imagens 3D apresentam um acréscimo de 12.5% na taxa de classificação correta.

8.2 Mandíbula inferior

Ao analisar a deformação da forma dos contornos das mandíbulas inferiores, em três fontes de informação, foi possível perceber que a variação dos vetores nas imagens 2D e 3D seguem o mesmo sentido, diferindo bruscamente do sentido dos vetores nas imagens dos moldes. Para as imagens 2D, a variação ocorre em todos os *landmarks*, diferentemente das imagens 3D, na qual a variação maior está localizada na sínfise. Para os moldes, as maiores variações estão localizadas nas extremidades dos contornos (Figura 73). A taxa de classificação correta das imagens 2D é a mesma que a das imagens dos moldes (75%) já as imagens 3D apresentam taxa da classificação correta de 100%.

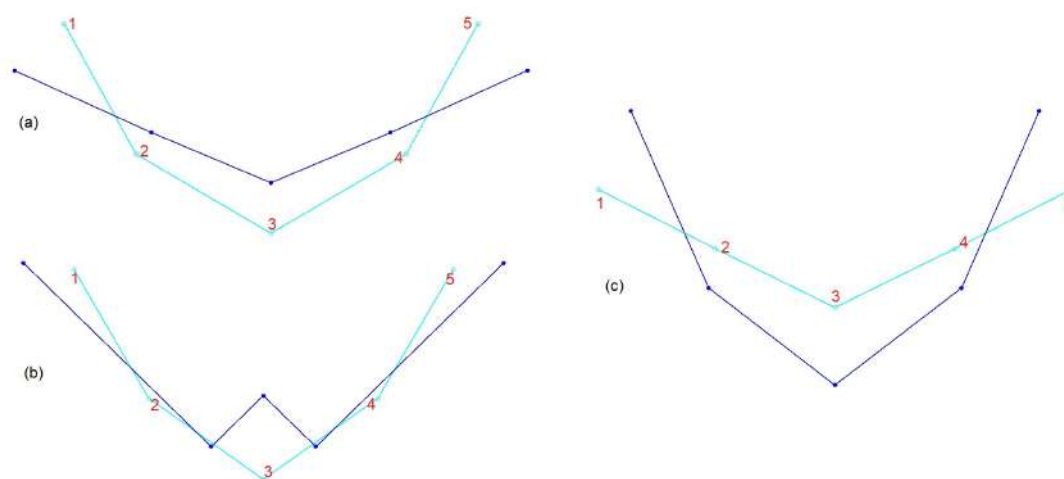


Figura 73 – Gráfico wireframe das alterações na forma dos 5 *landmarks* utilizados para traçar a marca do contorno inferior nas imagens: (a) 2D, (b) 3D e (c) Moldes. O wireframe em azul claro demonstra a configuração consenso, e o na cor escura demonstra as alterações na forma considerando a primeira variável canônica.

9 Conclusão

Após testar diversos materiais, a argila foi escolhida como o melhor material, entre os testados, para a confecção dos moldes. A argila é de fácil manuseio, o que favorece a agilidade na produção dos moldes, reduzindo, drasticamente, o tempo e material a serem utilizados, uma vez que evita o desembarque, a compra da cabeça, a limpeza e retirada da arcada, processo este lento e demorado. Além disso, os moldes são capazes de reproduzir com maior fidedignidade a mordida do tubarão.

Para analisar as imagens 3D, pode-se seguir o protocolo de análise utilizado: uma vez que a arcada é completamente digitalizada, o arquivo é salvo no formato *.xyz* a fim de ser utilizado no software *R-Project*, onde serão atribuídos os *landmarks*. Após a identificação dos *landmarks*, deve-se criar um arquivo no formato *.txt* com as coordenadas tridimensionais, permitindo a exportação das informações para o *MorphoJ*, momento no qual pode-se realizar a análise morfométrica 3D, similarmente a 2D. Porém, a obtenção das imagens 3D requer um alto poder computacional e bastante tempo, visto que para digitalizar uma arcada completa e remover o suporte onde a arcada é fixada é preciso aproximadamente 6 horas. Apesar do custo de criação, elas minimizam os erros de medição, posto que acrescentam informações, como a profundidade, por exemplo.

Foram usadas três formas diferentes de coleta de dados: moldes, imagens em 2D e em 3D. Porém, é importante levar em consideração possíveis problemas em cada uma delas. As imagens 2D se caracterizam pela ausência de profundidade e erro de abertura da arcada. As imagens 3D, por sua vez, acrescentam a informação da profundidade, mas ainda não conseguem solucionar o problema da padronização da abertura das arcadas. Em contrapartida, os moldes conseguem eliminar o problema da profundidade e do padrão de abertura, uma vez que a *marca da mordida* é capturada com a arcada ainda presa à boca do animal, preservando e reproduzindo, o mais próximo da realidade, as possíveis marcas deixadas nas vítimas de incidentes.

As diferenças e similaridades entre as espécies foram identificadas nas três fontes de informações. Independente da fonte de informação, o *G. cuvier* difere de todas as outras espécies. Foi verificado que seu contorno da mandíbula superior apresenta forma mais quadrada, ao passo em que a inferior é mais fechada. Seus dentes têm um formato bem específico e, apesar de deixar marcas de bases dos dentes grandes, é notório que sua perfuração é mais rasa que a do *C. leucas*. Nos moldes superiores, foi detectada a

similaridade entre o *R. porosus* e o *C. limbatus*: nos inferiores, o *C. acronotus* coincide com o *S. mokarran*. Nas imagens 2D, o *C. acronotus* se parece com o *C. limbatus* na mandíbula superior, e com o *R. porosus* na mandíbula inferior. Já nas imagens 3D, foi encontrado o mesmo padrão de similaridade entre as mandíbulas superiores e inferiores, de modo que o *C. leucas* se assemelha ao *C. limbatus*.

Para analisar as distâncias interdentais, foram levados em consideração os moldes e as imagens 2D como fontes de informações. Nos moldes, não foi possível fazer as medições das marcas das alturas dos dentes. Porém, foi identificada que a altura não é uma boa medição para separar as espécies de tubarão. Sendo assim, em relação às medições obtidas diretamente dos moldes, cabe destacar que, apesar de não serem mensuradas diretamente dos dentes, assim como foi realizado na análise 2D, têm-se indícios de similaridade entre os resultados, evidenciando que as marcas das larguras (bases) feitas nos moldes se aproximam da largura real do dente. Porém, é verificado um aumento na variabilidade das medições, o que é um reflexo da imprecisão da medida. Logo, têm-se que as bases dos dentes dos *R. porosus*, *C. acronotus* e do *C. limbatus* são semelhantes: para as distâncias entre uma ponta e outra, o *C. limbatus* apresenta medidas similares as do *R. porosus*. Vale destacar, ainda, que existe similaridade entre o *G. cuvier* e o *S. mokarran* em ambas as medidas coletadas nos moldes.

De posse da arcada, foi possível realizar as mensurações da largura (base), altura e distância entre uma ponta e outra dos dentes. As mensurações da largura e da distância entre uma ponta e outra classificaram as mesmas espécies de acordo com a similaridade: *S. mokarran*, *G. cuvier* e *C. leucas*. Além disso, a base do dente do *R. porosus* mostrou-se ser similar a do *C. limbatus*.

Por fim, o estudo da forma dos dentes foi baseado nas imagens 2D. Foram necessários 3 componentes que explicaram, aproximadamente, 70% da variabilidade total da forma dos dentes. Porém, a análise de Fourier é complexa e mais completa para caracterizar a forma do dente de cada espécie. Vale observar, também, o devido cuidado ao realizar essas análises para tal caracterização, buscando driblar a heterodontia existente.

Deste modo, vale reforçar, ainda, a importância de que se deve, na medida do possível, levar em consideração não só o formato da arcada, dos dentes ou as distâncias interdentais, mas também a idade, o tamanho e o sexo do animal, o que possibilita ajudar bastante na redução de incertezas quando o assunto é identificação de espécies.

Referências Bibliográficas

- ADAMS, D.; ROHLF, F.; SLICE, D. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'revolution'. **Italian Journal of Zoology**, Taylor & Francis, v. 71, n. 1, p. 5–16, 2004.
- ADLER, D.; MURDOCH, D. **rgl: 3D Visualization Using OpenGL**. [S.l.], 2018. R package version 0.99.16. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=rgl>>.
- AMORIM, A.; ARFELLI, C.; FAGUNDES, L. Pelagic elasmobranchs caught by longliners off southern Brazil during 1974–97: an overview. **Marine and Freshwater Research**, CSIRO, v. 49, n. 7, p. 621–632, 1998.
- BARRETO, R.; LESSA, R.; HAZIN, F.; SANTANA, F. Age and growth of the blacknose shark, *Carcharhinus acronotus* (Poey, 1860) off the northeastern Brazilian Coast. **Fisheries Research**, Elsevier, v. 110, n. 1, p. 170–176, 2011.
- BESTER, C. Ichthyology at the Florida Museum of Natural History. **Accessed January**, v. 16, p. 2014, 2004.
- BIGELOW, H.; SCHROEDER, W. Fishes of the Western North Atlantic. Part 1 (Lancelets, Cyclostomes, Sharks). 1948.
- BLACKITH, R. Morphometrics. **Theoretical and mathematical biology**, Blaisdell, New York, p. 225–249, 1965.
- BLACKITH, R.; REYMENT, R. et al. **Multivariate morphometrics**. [S.l.: s.n.], 1971.
- BONHOMME, V.; PICQ, S.; GAUCHEREL, C.; CLAUDE, J. et al. Momocs: outline analysis using R. **Journal of Statistical Software**, Foundation for Open Access Statistics, v. 56, n. 13, p. 1–24, 2014.
- BOOKSTEIN, F. **Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology**. [S.l.]: Cambridge Univ. Press, New York, 1991.
- BORNATOWSKI, H.; WEDEKIN, L. L.; HEITHAUS, M. R.; MARCONDES, M. C. C.; ROSSI-SANTOS, M. R. Shark scavenging and predation on cetaceans at Abrolhos Bank, eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, Cambridge University Press, v. 92, n. 8, p. 1767–1772, 2012.
- BUCK, T. J.; VIDARSDOTTIR, U. S. A proposed method for the identification of race in sub-adult skeletons: a geometric morphometric analysis of mandibular morphology. **Journal of Forensic Science**, ASTM International, v. 49, n. 6, p. JFS2004074–6, 2004.
- CADRIN, S. X.; FRIEDLAND, K. D. The utility of image processing techniques for morphometric analysis and stock identification. **Fisheries Research**, Elsevier, v. 43, n. 1-3, p. 129–139, 1999.

CALICH, H. Identifying suitable habitat for three highly migratory sharks (great hammerhead, tiger, and bull) and assessing their spatial vulnerability to commercial longline fishing in the southwest Atlantic Ocean and Gulf of México. 2016.

CAMHI, M. **Sharks and their relatives: ecology and conservation**. [S.l.]: IUCN, 1998.

CAMPOS, H. Estatística experimental não-paramétrica. **Estatística experimental não-paramétrica**, Esalq Piracicaba, 1983.

CAMUSSI, A.; OTTAVIANO, E.; CALINSKI, T.; KACZMAREK, Z. Genetic distances based on quantitative traits. **Genetics**, Genetics Soc America, v. 111, n. 4, p. 945–962, 1985.

CEMIT, C. E. D. M. D. Incidentes com tubarões. **Recife: Secretaria de Defesa Social (SDS)**, v. 19, 2019.

CHATFIELD, C. **Introduction to multivariate analysis**. [S.l.]: Routledge, 2018.

CHEN, H.; BHANU, B. Shape model-based 3D ear detection from side face range images. In: IEEE. **Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05)-Workshops**. [S.l.], 2005. p. 122–122.

CIENA, A. et al. Morphological aspects of oral denticles in the sharpnose shark *Rhizoprionodon landii* (Müller and Henle, 1839)(Elasmobranchii, Carcharhinidae). **Anatomia, histologia, embryologia**, Wiley Online Library, v. 45, n. 2, p. 109–114, 2016.

CINTAS, C. et al. Automatic ear detection and feature extraction using geometric morphometrics and convolutional neural networks. **IET Biometrics**, IET, v. 6, n. 3, p. 211–223, 2016.

CLIFF, G.; DUDLEY, S. Sharks caught in the protective gill nets off Natal, South Africa. 4. the bull shark *Carcharhinus leucas* Valenciennes. **South African Journal of Marine Science**, Taylor & Francis, v. 10, n. 1, p. 253–270, 1991.

CLUA, E. E.; HAGUENAUER, A. Nonfatal bites by a sicklefin lemon shark *negaprion acutidens* on a surfer in makemo atoll (french polynesia). **Journal of forensic sciences**, Wiley Online Library, 2019.

COMPAGNO, L.; NIEM, V. Carcharhinidae. requiem sharks. **FAO Identification Guide for Fishery Purposes. The Living Marine Resources of the Western Central Pacific**. FAO, Rome, p. 1312–1360, 1998.

COMPAGNO, L. J. **Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date**. [S.l.], 1984.

_____. **Sharks of the world: an annotated and illustrated catalogue of shark species known to date**. [S.l.]: Food & Agriculture Org., 2001. v. 1.

COMPAGNO, L. J.; EBERT, D. A.; SMALE, M. J. Guide to the sharks and rays of southern Africa. Cape Town (South Africa) Struik, 1989.

CONOVER, W. Practical nonparametric statistics. **INC, New York**, 1999.

COOK, S. F. et al. **Sharks: an inquiry into biology, behavior, fisheries, and use: proceedings of a conference, Portland, Oregon USA, October 13-15, 1985**. [S.l.], 1987.

CRUZ, C.; REGAZZI, A. Modelos biométricos aplicados ão melhoramento genético. **Viçosa: UFV-Imprensa Universitaria**, 1994.

CULLEN, J. A.; MARSHALL, C. D. Do sharks exhibit heterodonty by tooth position and over ontogeny? a comparison using elliptic Fourier analysis. **Journal of morphology**, Wiley Online Library, v. 280, n. 5, p. 687–700, 2019.

DENHAM, J. et al. **Sphyrna mokarran**. [S.l.]: IUCN, 2011.

DIAZ, G.; CAPPAL, C.; SETZU, M. D.; SIRIGU, S.; DIANA, A. Elliptic fourier descriptors of cell and nuclear shapes. **Fourier descriptors and their applications in biology**, Cambridge University Press Cambridge, UK, p. 307–321, 1997.

DRYDEN, I.; MARDIA, K. **Statistical analysis of shape**. [S.l.]: Wiley, 1998.

DRYDEN, I. L. Shape analysis. **Wiley StatsRef: Statistics Reference Online**, Wiley Online Library, 2014.

DUARTE-NETO, P.; RODRIGUES, J.; LESSA, R. Shape analysis of shark jaws as a tool to identify species involved in incidents with humans. **Journal of forensic and legal medicine**, Elsevier, v. 64, p. 23–27, 2019.

FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P.; SILVA, F. L. d.; CHAN, B. L. Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões. 2009.

FERRETTI, F.; WORM, B.; BRITTEN, G. L.; HEITHAUS, M. R.; LOTZE, H. K. Patterns and ecosystem consequences of shark declines in the ocean. **Ecology letters**, Wiley Online Library, v. 13, n. 8, p. 1055–1071, 2010.

FISCHER, A.; HAZIN, F.; CARVALHO, F.; VIANA, D.; RÊGO, M. Biological aspects of sharks caught off the Coast of Pernambuco, Northeast Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, SciELO Brasil, v. 69, n. 4, p. 1173–1181, 2009.

FISHER, R. The use of multiple measurements in taxonomic problems. **Annals of eugenics**, Wiley Online Library, v. 7, n. 2, p. 179–188, 1936.

FORNEL, R.; CORDEIRO-ESTRELA, P. Morfometria geométrica e a quantificação da forma dos organismos. **Temas em Biologia: Edição comemorativa aos 20 anos do Curso de Ciências Biológicas e aos 5 anos do PPG-Ecologia da URI Campus de Erechim.**, p. 101–120, 2012.

FRANKLIN, D.; CARDINI, A.; FLAVEL, A.; KULIUKAS, A. The application of traditional and geometric morphometric analyses for forensic quantification of sexual dimorphism: preliminary investigations in a Western Australian population. **International journal of legal medicine**, Springer, v. 126, n. 4, p. 549–558, 2012.

FREEMAN, H. Computer processing of line-drawing images. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, ACM, v. 6, n. 1, p. 57–97, 1974.

FRENCH, G. et al. The tooth, the whole tooth and nothing but the tooth: tooth shape and ontogenetic shift dynamics in the white shark *Carcharodon carcharias*. **Journal of fish biology**, Wiley Online Library, v. 91, n. 4, p. 1032–1047, 2017.

GADIG, O. **Tubarões da costa brasileira**. Tese (Doutorado) — Instituto de Biociências de Rio Claro da Universidade Estadual Paulista., 2001.

GADIG, O.; SAZIMA, I. A non-fatal attack by the tiger shark, *Galeocerdo cuvier*, on the northeast coast of Brazil (Chondrichthyes, Carcharhinidae). **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 36, p. 119–122, 2003.

GARRICK, J. A. F. **Sharks of the genus *Carcharhinus***. [S.l.]: US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service, 1982.

GASTWIRTH, J. L.; GEL, Y. R.; HUI, W. L. W.; LYUBCHICH, V.; MIAO, W. **lawstat: Tools for Biostatistics, Public Policy, and Law**. [S.l.], 2017. R package version 3.1. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=lawstat>>.

GOMES, U.; SIGNORI, C.; GADIG, O.; SANTOS, H. Guia para identificação de tubarões e raias do Rio de Janeiro. **Technical Books, Rio de Janeiro**, 2010.

GRACE, M. Field guide to requiem sharks (Elasmobranchiomorphi: Carcharhinidae) of the Western North Atlantic. 2001.

HABEGGER, M. L.; MOTTA, P. J.; HUBER, D. R.; DEAN, M. N. Feeding biomechanics and theoretical calculations of bite force in bull sharks (*Carcharhinus leucas*) during ontogeny. **Zoology**, Elsevier, v. 115, n. 6, p. 354–364, 2012.

HAMMERSCHLAG, N.; GALLAGHER, A. J.; LAZARRE, D. M.; SLONIM, C. Range extension of the Endangered great hammerhead shark *Sphyrna mokarran* in the Northwest Atlantic: preliminary data and significance for conservation. **Endangered Species Research**, v. 13, n. 2, p. 111–116, 2011.

HAZIN, F.; AFONSO, A. A green strategy for shark attack mitigation off Recife, Brazil. **Animal Conservation**, Wiley Online Library, v. 17, n. 4, p. 287–296, 2014.

HAZIN, F.; BURGESS, G.; CARVALHO, F. A shark attack outbreak off Recife, Pernambuco, Brazil: 1992–2006. **Bulletin of Marine Science**, University of Miami-Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, v. 82, n. 2, p. 199–212, 2008.

HAZIN, F.; OLIVEIRA, P.; BROADHURST, M. Reproduction of blacknose shark (*Carcharhinus acronotus*) in coastal waters off northeastern Brazil. **Fishery Bulletin**, v. 100, n. 1, p. 143–148, 2002.

HEITHAUS, M. R. The biology of tiger sharks, *Galeocerdo cuvier*, in Shark Bay, Western Australia: sex ratio, size distribution, diet, and seasonal changes in catch rates. **Environmental Biology of Fishes**, Springer, v. 61, n. 1, p. 25–36, 2001.

HEUPEL, M. R.; KNIP, D. M.; SIMPFENDORFER, C. A.; DULVY, N. K. Sizing up the ecological role of sharks as predators. **Marine Ecology Progress Series**, v. 495, p. 291–298, 2014.

HOLLANDER, M.; WOLFE, D. A. Nonparametric statistical methods. **Inc. New York**, 1973.

ICMBIO. **Avaliação do risco de extinção dos elasmobrânquios e quimeras no Brasil: 2010-2012**. [S.l.]: CEPISUL Itajaí, 2016.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. et al. **Applied multivariate statistical analysis**. [S.l.]: Prentice hall Upper Saddle River, NJ, 2002. v. 5.

JUBLIER, N.; CLUA, E. Size assessment of the gray reef shark *Carcharhinus amblyrhynchos* inferred from teeth marks on human wounds. **Journal of forensic sciences**, Wiley Online Library, v. 63, n. 5, p. 1561–1567, 2018.

KARDONG, K. V. et al. **Vertebrates: comparative anatomy, function, evolution**. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 2006.

KENDALL, D. G. Shape manifolds, procrustean metrics, and complex projective spaces. **Bulletin of the London Mathematical Society**, Wiley Online Library, v. 16, n. 2, p. 81–121, 1984.

KLINGENBERG, C. MorphoJ. **Faculty of Life Sciences, University of Manchester**, v. 3, p. 75–77, 2008.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American statistical Association**, Taylor & Francis Group, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

KUHL, F. P.; GIARDINA, C. R. Elliptic fourier features of a closed contour. **Computer graphics and image processing**, Elsevier, v. 18, n. 3, p. 236–258, 1982.

LACHENBRUCH, P. A. An almost unbiased method of obtaining confidence intervals for the probability of misclassification in discriminant analysis. **Biometrics**, JSTOR, p. 639–645, 1967.

LAST, P.; STEVENS, J. Sharks and Rays of Australia. **Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia**, 1994.

LESSA, R.; SANTANA, F.; RINCÓN, G.; GADIG, O.; EL-DEIR, A. **Biodiversidade de Elasmobrânquios do Brasil. Relatório para o Programa Nacional de Diversidade Biológica (PRONABIO)–Necton–Elasmobrânquios**, Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA). [S.l.]: Recife, 119p, 1999.

LESTREL, P. E. **Fourier descriptors and their applications in biology**. [S.l.]: Cambridge University Press, 1997.

LEVENE, H. Contributions to probability and statistics. **Essays in honor of Harold Hotelling**, Stanford University Press California, p. 278–292, 1960.

- LIU, Y.; ZHANG, B.; ZHANG, D. Ear-parotic face angle: A unique feature for 3D ear recognition. **Pattern Recognition Letters**, Elsevier, v. 53, p. 9–15, 2015.
- LOWRY, D.; CASTRO, A.; MARA, K.; WHITENACK, L.; DELIUS, B. Determining shark size from forensic analysis of bite damage. **Marine Biology**, Springer, v. 156, n. 12, p. 2483, 2009.
- MADDALENA, A.; BÄNSCH, H.; HEIM, W. **Sharks of the Mediterranean: An illustrated study of all species**. [S.l.]: McFarland, 2015.
- MARCUS, L. et al. **Advances in Morphometrics. NATO Advanced Science Institute Series A: Life Sciences**. [S.l.]: New York, Plenum Press, 1996.
- MARRAMÀ, G.; KRIWET, J. Principal component and discriminant analyses as powerful tools to support taxonomic identification and their use for functional and phylogenetic signal detection of isolated fossil shark teeth. **PloS one**, Public Library of Science, v. 12, n. 11, p. e0188806, 2017.
- MATHIESEN, Á. M. **The state of world fisheries and aquaculture 2012**. [S.l.]: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.
- MATTOS, S.; PEREIRA, J. Parâmetros de crescimento do tubarão rabo-seco, *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861), no litoral do Estado de Pernambuco, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 35, n. 1-2, p. 57–66, 2002.
- MAZZOLENI, R.; SCHWINGEL, P. Elasmobranch species landed in Itajaí harbor, southern Brazil. **Notas Téc. FACIMAR**, v. 3, p. 111–118, 1999.
- MITTEROECKER, P.; GUNZ, P. Advances in geometric morphometrics. **Evolutionary Biology**, Springer, v. 36, n. 2, p. 235–247, 2009.
- MONTEIRO, L.; BORDIN, B.; REIS, S. Shape distances, shape spaces and the comparison of morphometric methods. **Trends in ecology & evolution**, Elsevier, v. 15, n. 6, p. 217–220, 2000.
- MONTEIRO, L.; REIS, S. D. **Princípios de Morfometria Geométrica**. 1999.
- MUGGEO, V. et al. Segmented: an R package to fit regression models with broken-line relationships. **R news**, v. 8, n. 1, p. 20–25, 2008.
- MUSICK, J.; BURGESS, G.; CAILLIET, G.; CAMHI, M.; FORDHAM, S. Management of sharks and their relatives (Elasmobranchii). **Fisheries**, Wiley Online Library, v. 25, n. 3, p. 9–13, 2000.
- NAYLOR, G. J.; RYBURN, J.; FEDRIGO, O.; LOPEZ, J. Phylogenetic relationships among the major lineages of modern elasmobranchs. **Reproductive biology and phylogeny**, Science Publishers, Inc. Enfield, NH, v. 3, n. 1, p. 25, 2005.
- NELSON, D. R. Telemetry studies of sharks: a review, with applications in resource management. **NOAA Tech. Rep. NMFS**, v. 90, p. 211–237, 1990.

NEMENYI, P. Distribution-free multiple comparisons. In: INTERNATIONAL BIOMETRIC SOC 1441 I ST, NW, SUITE 700, WASHINGTON, DC 20005-2210. **Biometrics**. [S.l.], 1962. v. 18, n. 2, p. 263.

PARKER, F.; BAILEY, C. Massive aggregations of Elasmobranchs near Mustang and Padre Island, Texas. **Texas Journal of Science**, TEXAS ACAD SCI CMB 6252, SCHREINER UNIV, KERRVILLE, TX 78028-5697 USA, v. 31, n. 3, p. 255–266, 1979.

QUEIROZ, E.; REBOUÇAS, S. Tubarão - Quem tu és. **Salvador, GE-CET/UFBA/Fapex**, 1995.

RANDALL, J. E. Review of the biology of the tiger shark (*Galeocerdo cuvier*). **Marine and Freshwater Research**, CSIRO, v. 43, n. 1, p. 21–31, 1992.

RAO, C. Advanced statistical methods in biometric research. Wiley, 1952.

REGAZZI, A. Análise multivariada. **Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa**, v. 2, 2002.

ROHLF, F. Morphometrics. **Annual Review of ecology and Systematics**, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 21, n. 1, p. 299–316, 1990.

_____. Shape statistics: Procrustes superimpositions and tangent spaces. **Journal of Classification**, Springer, v. 16, n. 2, p. 197–223, 1999.

_____. tps-UTIL, file utility program, version 1.38 [software and manual]. **New-York: Department of Ecology and Evolution, State University of New York at Stony Brook**, 2006.

_____. tpsDig v2. 16. **Department of Ecology and Evolution, State University of New York, Stony Brook, New York**, 2010.

ROHLF, F.; MARCUS, L. A revolution morphometrics. **Trends in ecology & evolution**, Elsevier, v. 8, n. 4, p. 129–132, 1993.

SADOWSKY, V. Notes on the bull shark *Carcharhinus leucas* in the lagoon region of Cananéia, Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, SciELO Brasil, v. 20, n. 2, p. 71–78, 1971.

SIDHU, R.; CHANDRA, S.; DEVI, P.; TANEJA, N.; SAH, K. Forensic importance of maxillary sinus in gender determination: a morphometric analysis from Western Uttar Pradesh, India. **European Journal of General Dentistry**, Medknow, v. 3, n. 1, p. 53, 2014.

SILVA, C. M. L. da; ALMEIDA, Z. d. S. de. Alimentação de rhizoprionodon porosus (elasmobranchii: carcharhinidae) da costa do maranhão, brasil. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 27, n. 2, p. 201–207, 2018.

SIMPFENDORFER, C. Biology of tiger sharks (*Galeocerdo cuvier*) caught by the Queensland shark meshing program off Townsville, Australia. **Marine and Freshwater Research**, CSIRO, v. 43, n. 1, p. 33–43, 1992.

_____. **Galeocerdo cuvier**. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e. **T39378A10220026**. 2016.

SLICE, D. E. **Modern morphometrics in physical anthropology**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2006.

_____. Geometric morphometrics. **Annu. Rev. Anthropol.**, Annual Reviews, v. 36, p. 261–281, 2007.

SMITH, L. C. **National audubon society field guide to tropical marine fishes Caribbean, Gulf of Mexico, Florida, Bahamas, Bermuda**. [S.l.: s.n.], 1997.

SNELSON, F. F.; MULLIGAN, T. J.; WILLIAMS, S. E. Food habits, occurrence, and population structure of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, in Florida coastal lagoons. **Bulletin of Marine Science**, University of Miami-Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, v. 34, n. 1, p. 71–80, 1984.

SPRINGER, V. G. A revision of the carcharhinid shark genera *Scoliodon*, *Loxodon*, and *Rhizoprionodon*. **Proceedings of the United States National Museum**, 1964.

SZPILMAN, M. **Tubarões no Brasil: guia prático de identificação**. [S.l.]: Mauad Editora Ltda, 2004.

THORSON, T. B. Movement of bull sharks, *Carcharhinus leucas*, between Caribbean Sea and Lake Nicaragua demonstrated by tagging. **Copeia**, JSTOR, v. 1971, n. 2, p. 336–338, 1971.

THORSTEN, P. **The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR)**. [S.l.], 2014. R package. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=PMCMR>>.

TIMM, N. **Applied Multivariate Analysis: Springer Texts in Statistics**. [S.l.]: Springer-Verlag New York Incorporated, 2002.

URBANEK, S. **jpeg: Read and write JPEG images**. [S.l.], 2014. R package version 0.1-8. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=jpeg>>.

VAUDO, J. J.; HEITHAUS, M. R. Spatiotemporal variability in a sandflat elasmobranch fauna in Shark Bay, Australia. **Marine Biology**, Springer, v. 156, n. 12, p. 2579–2590, 2009.

WEIGMANN, S. Annotated checklist of the living sharks, batoids and chimaeras (Chondrichthyes) of the world, with a focus on biogeographical diversity. **Journal of Fish Biology**, Wiley Online Library, v. 88, n. 3, p. 837–1037, 2016.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. [S.l.]: Pearson Education India, 1999.