

LEANDRO RICARDO RODRIGUES DE LUCENA

**ANÁLISE DO CONDROCRÂNIO DE *RHIZOPRIONODON POROSUS*
(POEY, 1861) DA COSTA NORDESTE DO BRASIL**

RECIFE-PE – SETEMBRO/2012.



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

ANÁLISE DE CONDROCRÂNIO DE *RHIZOPRIONODON POROSUS*
(POEY, 1861) DA COSTA NORDESTE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a Dra Rosangela Teixeira Lessa

Co-orientador: Prof. Dr. Borko Sotsic

RECIFE-PE – SETEMBRO/2012.

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

ANÁLISE DE CONDROCRÂNIO DE *RHIZOPRIONODON POROSUS* (POEY, 1861)
DA COSTA NORDESTE DO BRASIL

Leandro Ricardo Rodrigues de Lucena

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 06/09/2012 pela Comissão Examinadora.

Orientador:

Prof^a. Dra Rosângela Paula Lessa
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr. Francisco Marcante Santana da Silva – membro externo
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Borko Stosic – membro interno
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Humber Agrelli de Andrade – membro interno
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof^a Dra Tatijana Stosic – membro suplente
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedicatória

Dedico esta dissertação aos meus pais, Ricardo e Edvane, pelo amor, apoio e confiança incondicionais. As minhas irmãs Lidiane e Leandra por estarem sempre presentes em minha vida. A minha noiva Karina pelo amor e companheirismo. Aos demais familiares que de uma forma ou de outra contribuíram para a conclusão desta dissertação, em especial a minha tia Maria Sueli. Aos meus avós maternos e paternos *in memoriam*.

Agradecimentos

Agradecer a todos que ajudaram a construir esta dissertação não é tarefa fácil. O maior perigo que se coloca para o agradecimento seletivo não é decidir quem incluir, mas decidir quem não mencionar.

Meu maior agradecimento é dirigido a meus pais, por terem sido o contínuo apoio em todos estes anos, ensinando-me, principalmente, a importância da construção e coerência de meus próprios valores.

Agradeço as minhas irmãs pela confiança que sempre depositaram em mim. Aos meus amigos que, de uma forma ou de outra, contribuíram com sua amizade e com sugestões efetivas para a realização deste trabalho, gostaria de expressar minha profunda gratidão.

A minha noiva, pois nesta trajetória, soube compreender, como ninguém, a fase pela qual eu estava passando.

Agradeço à professora Rosângela Lessa a consideração de ter aceitado a orientação de minha dissertação cujo conhecimento e disponibilidade foram fundamentais para que este trabalho fosse efetuado com sucesso espero retribuir, com a seriedade de meu trabalho, a confiança em mim depositada.

Agradeço a todos os meus outros familiares por sempre estarem ao meu lado e em especial a minha tia Maria Sueli de Lucena por sempre acreditar em mim.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa concedida durante os anos do curso.

Agradeço in memoriam aos meus avós por ter a certeza que eles intercedem por mim e são partes responsáveis por mais essa conquista.

“Nem tudo que se enfrenta pode ser modificado, mas nada pode ser modificado até que seja enfrentado.”

Albert Einstein

Resumo

O gênero *Rhizoprionodon* (Whitley, 1929) compreende sete espécies distribuídas pelos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico. No Brasil ocorrem duas espécies, o *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) e o *lalandi* (Valenciennes, 1839). O uso de técnicas morfométricas distintas da abordagem que utiliza proporções corporais, geralmente utilizadas em taxonomia, encontra limitações para esse grupo devido à falta nos elasmobrânquios de marcos anatômicos, propriamente ditos. Assim, no presente estudo será analisado o condrocânio que é uma estrutura considerada espécie-específica que apresenta forma angulosa, localizado na base do crânio que sustenta o encéfalo e serve para sua proteção. O estudo tem por objetivo verificar a hipótese sugerida na literatura de duas populações da espécie *R. porosus* na costa do Brasil (Lessa et al. 2011; Lessa, 2003). Uma delas corresponderia à costa setentrional do Nordeste (RN) e a outra à costa oriental desta região (PE). Para tanto, se realizou um estudo morfométrico comparativo do condrocânio de *R. porosus* entre as regiões mencionadas utilizando-se para isso os métodos de análise multivariada. Em todas as análises verificou-se diferenças tanto para a fase adulta quanto para a fase juvenil em relação às regiões de captura. Na análise de discriminantes e no *k-means* obteve-se uma taxa de acerto de 100,0% na classificação dos condrocânios. Não existe diferença do condrocânio em relação ao sexo independente da região de captura. As variáveis que caracterizaram as diferenças entre as populações foram: a distância entre as fenestras rostral e baserostral, a distância entre a fenestra rostral e as cartilagens lateral rostral esquerda e direita e a distância entre a fossa parietal e a fontanela anterior, sendo que exemplares de *R. porosus* do RN apresentaram distâncias maiores. Verificou-se de fato diferença entre os condrocânios de PE e RN nas fases adulta e juvenil. Esses resultados estão em conformidade com o padrão recentemente sugerido na literatura que indica duas populações na costa nordeste do Brasil.

Palavras-chave: *Rhizoprionodon porosus*, condrocânio, análise multivariada.

Abstract

The genus *Rhizoprionodon* (Whitley, 1929) comprises seven species occurring in the Atlantic, Pacific and Indian Oceans; the species are small and medium-sized animals attaining about 150 cm, inhabiting coastal waters, estuaries and brackish waters and feeding mainly on mollusks, crustaceans and small fish. In Brazil the two species are found *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) and *lalandi* (Valenciennes, 1839). The use of morphometric approaches has limitations for this group due to lack of anatomical landmarks, since they have a continuous form without angles. This study will analyze the chondrocranium a structure that is considered species-specific, located at the base of the skull holding and protecting the brain, displaying a shape that exhibits numerous angles. The study aims to verify the hypothesis suggested in the literature of two populations of the species *R. porosus* off northeastern Brazil (Lessa et al. 2011; Lessa et al. 2008). One corresponds to the northern coast of the Northeast (RN) and the other to the eastern coast of this region (PE). For that we performed a comparative morphometric study of the chondrocranium of *R. porosus* between the indicated areas using multivariate analyses. Thus, there were differences both for adult and juvenile phases by regions of capture. The discriminant analysis and k-means yielded a hit rate of 100, 0%. In conclusion, there is indeed a difference between chondrocrania from Pernambuco and Rio Grande do Norte as showed by approaches used. These results are in accordance with the hypotheses recently suggested in the literature that indicates two populations on the coast of northeastern Brazil.

Keywords: *Rhizoprionodon porosus*, chondrocranium, multivariate analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. REGIÕES DO CONDROCRÂNIO DE RIZHOPRIONODON POROSUS.	19
FIGURA 2. MARCOS ANATÔMICO DO CONDROCRÂNIO DO RHIZOPRIONODON <i>POROSUS</i> DE PERNAMBUCO. 1- RF; 2- BR; 3- LRL; 4- LRR; 5- NCL; 6- NCR; 7- OL; 8- OR; 9- PTL; 10- PTR; 11- FGL; 12- FGR; 13- FVL; 14- FVR; 15- FM; 16- PRF; 17- AF.....	21
FIGURA 3. MARCOS ANATÔMICO DO CONDROCRÂNIO DO RHIZOPRIONODON <i>POROSUS</i> DO RIO GRANDE DO NORTE. 1- RF; 2- BR; 3- LRL; 4- LRR; 5- NCL; 6- NCR; 7- OL; 8- OR; 9- PTL; 10- PTR; 11- FGL; 12- FGR; 13- FVL; 14- FVR; 15- FM; 16- PRF; 17- AF.	21
FIGURA 4. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO NA FASE ADULTA.	37
FIGURA 5. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO NA FASE JUVENIL.....	39
FIGURA 6. DISPERSÃO ENTRE O COMPRIMENTO DO CONDROCRÂNIO E O COMPRIMENTO TOTAL DO TUBARÃO.....	42
FIGURA 7. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO NA FASE ADULTA.	42
FIGURA 8. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO NA FASE JUVENIL.....	43
FIGURA 9. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO DA COSTA ORIENTAL DO BRASIL.	45
FIGURA 10. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO DA COSTA SETENTRIONAL DO BRASIL.	46
FIGURA 11. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO JUVENIL DA COSTA ORIENTAL DO BRASIL.....	47
FIGURA 12. VARIÂNCIA EXPLICADA POR CADA COMPONENTE PRINCIPAL DOS CONDROCRÂNIO JUVENIL DA COSTA SETENTRIONAL DO BRASIL.	49
FIGURA 13. DENDOGRAMA DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTO PARA DE CONDROCRÂNIOS DE R. POROSUS ADULTO (PERNAMBUCO- 1 A 7; RIO GRANDE DO NORTE- 8 A 13).	51

FIGURA 14. DENDOGRAMA DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTO PARA DE CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> JUVENIL (PERNAMBUCO- 1 A 8; RIO GRANDE DO NORTE – 9 A 15).....	52
FIGURA 15. DENDOGRAMA DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTO PARA DE CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA ORIENTAL (JUVENIL- 1 A 8; ADULTO – 9 A 15).	53
FIGURA 16. DENDOGRAMA DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTO PARA DE CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA SETENTRIONAL (JUVENIL- 1 A 7; ADULTO – 8 A 13).	54
FIGURA 17. DENDOGRAMA DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTO EM RELAÇÃO AOS CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA ORIENTAL (MACHOS- 1,2,3 E 6; FÊMEAS- 4,5,7 E 8).....	55
FIGURA 18. DENDOGRAMA DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTO EM RELAÇÃO AOS CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA ORIENTAL (MACHOS- 2 E 3; FÊMEAS- 1,4 E 5).....	56
FIGURA 19. AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> ADULTO (EM AZUL – RIO GRANDE DO NORTE; VERMELHO – PERNAMBUCO).	57
FIGURA 20. AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> JUVENIL (EM AZUL – RIO GRANDE DO NORTE; VERMELHO – PERNAMBUCO).	58
FIGURA 21. AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA ORIENTAL (PE) DO BRASIL (EM AZUL - ADULTO; VERMELHO – JUVENIL).	58
FIGURA 22. AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA SETENTRIONAL (RN) DO BRASIL (EM AZUL - JUVENIL; VERMELHO – ADULTO).....	59
FIGURA 23. AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA ORIENTAL (FÊMEAS- 4,5,7 E 8 ; MACHOS – 1,2,3 E 6).	59
FIGURA 24. AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA SETENTRIONAL (FÊMEAS- 1,4 E 5; MACHOS- 2 E 3).60	

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VARIÁVEIS MORFOLÓGICAS DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i>	22
TABELA 2. CLASSIFICAÇÃO DAS POPULAÇÕES	34
TABELA 3. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO.....	35
TABELA 4. AUTOVETORES ASSOCIADOS ÀS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO.....	36
TABELA 5. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL.	38
TABELA 6. AUTOVETORES DAS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL.	38
TABELA 7. MÉDIA DAS DISTÂNCIAS DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> EM RELAÇÃO A ÁREA DE ESTUDO E A FAIXA ETÁRIA.....	40
TABELA 8. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO.....	41
TABELA 9. AUTOVETORES ASSOCIADOS ÀS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO.....	42
TABELA 10. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL.	43
TABELA 11. AUTOVETORES ASSOCIADOS ÀS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL.....	43
TABELA 12. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO E JUVENIL DE PERNAMBUCO.	44
TABELA 13. AUTOVETORES ASSOCIADOS ÀS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO E JUVENIL DE PERNAMBUCO.	44
TABELA 14. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO E JUVENIL DO RIO GRANDE DO NORTE.....	45
TABELA 15. AUTOVETORES ASSOCIADOS ÀS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS ADULTO E JUVENIL DO RIO GRANDE DO NORTE. ..	46

TABELA 16. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL DA COSTA ORIENTAL.	47
TABELA 17. AUTOVETORES ASSOCIADOS ÀS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL DA COSTA ORIENTAL.....	47
TABELA 18. IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL DA COSTA SETENTRIONAL.....	48
TABELA 19. AUTOVETORES ASSOCIADOS ÀS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA CONDRÓCRÂNIOS JUVENIL DA COSTA SETENTRIONAL.	48
TABELA 20. MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DE PE E RN EM RELAÇÃO À FAIXA ETÁRIA.	550
TABELA 21. MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DA COSTA ORIENTAL E SETENTRIONAL DO BRASIL EM RELAÇÃO À FAIXA ETÁRIA.....	50
TABELA 22. MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DOS CONDRÓCRÂNIOS DE <i>R. POROSUS</i> DE PE E RN EM RELAÇÃO AO SEXO.....	50
TABELA 23. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO COFENÉTICA (CCC) DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTOS DOS CONDRÓCRÂNIOS EM RELAÇÃO À FAIXA ETÁRIA.	52
TABELA 24. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO COFENÉTICA (CCC) DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTOS DOS CONDRÓCRÂNIOS EM RELAÇÃO À REGIÃO DE CAPTURA.	54
TABELA 25. COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO COFENÉTICA (CCC) DOS MÉTODOS DE AGRUPAMENTOS DOS CONDRÓCRÂNIOS EM RELAÇÃO AO SEXO DO TUBARÃO E A REGIÃO DE CAPTURA.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RF - rostral fenestra – fenestra rostral

BR - basirostral fenestra - fenestra baserostral

LRL - lateral rostral cartilage left – cartilage rostral lateral esquerda

LRR - lateral rostral cartilage right – cartilage rostral lateral direita

NCL - nasal capsule left – cápsula nasal esquerda

NCR - nasal capsule right – cápsula nasal direita

OL - orbit left – órbito esquerdo

OR - orbit right – órbito direito

PTL - postorbital process left – processo posterior orbital esquerdo

PTR - postorbital process right – processo posterior orbital direito

FGL - glossopharyngeal foramen left – forame glossofaríngeo esquerdo

FGR - glossopharyngeal right – forame glossofaríngeo direito

FVL - vagus nerve foramen left – forame nervo vago esquerdo

FVR - vagus nerve foramen right – forame nervo vago direito

FM - foramen magnum – forame magnum

PRF - parietal fossa – fossa parietal

AF – Anterior fontanelle – fontanela anterior

PE- Pernambuco

RN- Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 DADOS	20
3.2 MORFOMETRIA GEOMÉTRICA	22
3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)	23
3.4 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO.....	24
3.4.1 AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO	25
3.4.2 AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO	27
3.5 ANÁLISE DE DISCRIMINANTE.....	30
3.5.1 FUNÇÃO DISCRIMINANTE LINEAR DE FISHER (1936).....	31
4. RESULTADOS.....	35
4.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS.....	35
4.2 ANÁLISE DE DISCRIMINANTE.....	49
4.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO	51
4.4 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO NÃO-HIERÁRQUICO (K-MEANS).....	57
5. DISCUSSÃO	60
6. CONCLUSÃO	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

1. INTRODUÇÃO

Os *chondrichthyes* são peixes cartilagosos representados pelos tubarões, raias (subclasse *elasmobranchii*) e quimeras (subclasse *halecephali*) (Nelson, 2006). Os *elasmobranchii* compreendem aproximadamente 1074 espécies, destas, cerca de 500 são tubarões (COMPAGNO, 2005).

Surgido aproximadamente há 400 milhões de anos, os tubarões desempenham um papel ecológico importante (CASTRO, 1987). Distribuídos em todos os oceanos, em águas temperadas e frias dos trópicos e subtropicais, desde regiões costeiras até grandes profundidades, ocupam variados ambientes incluindo recifes, estuários, pelágicos costeiros e oceânicos, desde a superfície até 3000m de profundidade (COMPAGNO, 2005).

As pescas dirigidas aos tubarões são praticadas desde o século XVI, entretanto na década de 1930 houve um aumento na captura de elasmobrânquios, despertando interesse na exploração comercial do recurso, o que causou um aumento considerável na atividade pesqueira mundial (STONE et al., 1998). Os primeiros registros oficiais sobre a produção de pesca mundial de elasmobrânquios apareceu em 1947, registrando a captura de 201.000 toneladas. No Brasil, a pesca de elasmobrânquios surgiu nos registros da FAO em 1959 com um total de 4.600 toneladas (BONFIL, 1994).

Os elasmobrânquios são capturados por pescarias artesanais, industriais e esportivas, tanto pelo valor comercial da carne quanto pelo alto valor de suas barbatanas, apreciadas pelos asiáticos (WALKER, 1998). BONFIL (1994), em seu estudo, observou que no litoral brasileiro a pesca de elasmobrânquios teve o auge na década de 1980, registrando pico em 1982 com 31.300 toneladas. A fauna de elasmobrânquios explorada no Brasil é composta por 85 espécies, embora cuja representação nas capturas ocorre tanto como espécies alvo das pescarias como

principalmente, como fauna acompanhante em diversas modalidades de exploração (LESSA et. al 1999).

As capturas na década de 1990 apresentaram um declínio acentuado (LESSA et al. 1999), provavelmente devido às características biológicas dos elasmobrânquios, à falta de políticas de conservação e a inexistência de planos de manejo para as pescarias brasileiras. A pesca de pequeno porte é comum no litoral brasileiro, principalmente em São Paulo, que é responsável pela captura de espécies que ocorrem na zona costeira do estado (LESSA et al. 1999; GADIG, 2001).

Devido à exploração intensa desses recursos pesqueiros há necessidade de avaliar os estoques de elasmobrânquios, o que passa pela condicionante de determinar as unidades de estoques que apresentam parâmetros distintos- uma das outras, trazendo seu desconhecimento grave problemas para a gestão e o manejo pesqueiros (FONTELES-FILHO, 1989). Para esse fim diversas técnicas como a morfometria, técnicas bioquímicas e genéticas, estão disponíveis. O estudo da morfometria é fundamental para esse fim, bem como para diversos outros incluindo a descrição das espécies (aplicação taxonômica) e a caracterização unidades populacionais.

O uso de técnicas morfométricas distintas da abordagem que utiliza proporções corporais, geralmente utilizadas em taxonomia, encontra limitações para esse grupo devido à falta de nos elasmobrânquios de marcos anatômicos, propriamente ditos (REIS et al., 1987), uma vez que possuem uma forma contínua sem ângulos como é necessário para utilização de técnicas de morfometria geométrica. Assim, no presente estudo será analisado o condrocânio que é uma estrutura considerada espécie-específica (COMPAGNO, 1988) que apresenta forma angulosa estando localizada na base do crânio que sustenta o encéfalo e serve para sua proteção.

Recentemente foi sugerida na literatura a formação de uma barreira entre as correntes setentrional e oriental do Brasil (Lessa et al., 2003). Avaliando esta hipótese LESSA et al.(2011) verificou diferença entre duas populações de *R.*

porosus sugerindo dois grupos, um formado por tubarões da costa oriental e outro da costa setentrional do Brasil. MENDONÇA et al. (2011) estudou a variação de DNA de *R. porosus* e detectou diferença de dois padrões de DNA, sugerindo o mesmo que Lessa em 2008.

Igualmente, considerando-se os atributos morfológicos dessa estrutura, pretende-se no presente, pela primeira vez, estudo analisar morfometricamente o condrocânio de *R. porosus* da costa do nordeste visando caracterizar unidades populacionais, a fim de que esse conhecimento possa contribuir para a determinação de unidades de estoques e ser disponibilizado à gestão do recurso na costa do Nordeste do Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os tubarões da família *Carcharhinidae* uma das maiores e mais importantes famílias da ordem dos Carcharhiniformes com 50 espécies pertencentes a 12 gêneros (COMPAGNO, 1988). O gênero *Rhizoprionodon Whitley* compreende sete espécies distribuídas pelos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico; essas espécies são animais de pequeno e médio porte que atingem 150 cm, habitam em águas costeiras, enseadas e águas salobras, se alimentam principalmente de moluscos, crustáceos e pequenos peixes (SPRINGER, 1964; CERVIGÓN, 1999).

COMPAGNO (1984) observou em seu estudo que o *R. porosus* se distribui desde Bahamas até o Uruguai. Mattos (1998) observou que o *R. porosus* (Poey, 1861) é abundante nos litorais norte e nordeste brasileiro assim como o *R. landi* (Valenciennes, 1839), ambas espécies são objetos de diversos trabalhos sobre aspectos anatômicos e morfológicos .

BARCELLOS (1963) e GOMES e TOMAS (1985) em seus estudos observaram os aspectos de morfologia e distribuição geográfica nas espécies no Brasil. GOMES e REIS (1987, 1991 a,b) e REIS e GOMES (1991) estudaram a dentição dos *R. porosus* e *landi*. Estudos sobre a coluna vertebral foram

abordados por GOMES e FISHER (1993), a morfologia de órgãos copuladores foram objetos de estudos de CUNHA e GOMES (1994). GOMES e SIQUEIRA (1995) compararam condroneurocrânio dessas duas espécies. GARCIA et al. (2008) comparou morfometricamente as espécies de *R. porosus* e *terraenovae* de três localidades (Pernambuco e Rio Grande do Norte, Brasil e Flórida, EUA).

FERREIRA (1988), em estudo realizado no Rio de Janeiro, observou aspectos reprodutivos das duas espécies, bem como LESSA (1988) estudou a reprodução do *R. lalandi* na costa norte do Maranhão assim como, MATTOS et al. (2001) para *R. porosus* em diferentes áreas do Nordeste do Brasil. MONTEALEGRE-QUIJANO (2002) estudou sobre idade e crescimento e análise demográfica da espécie *R. porosus* coletado na área do presente estudo.

LESSA et al. (2011) em estudo sobre idade e crescimento de *R. porosus* verificou a diferença de duas populações de *R. porosus* nas costas oriental e setentrional do Brasil. MENDONÇA et al. (2011) em estudo de variação do DNA de *R. porosus* também encontrou diferenças no DNA de *R. porosus* nessa mesma área.

O Condrocrânio, neurocrânio cartilaginoso ou condroneurocrânio é uma caixa não suturada que forma o componente principal do crânio destes peixes junto com o arco visceral cartilaginoso (arcos mandibulares, hióide e branquiais) (COMPAGNO, 2005). O condrocrânio dos tubarões persiste na fase adulta e não é substituído pelo osso endocondral como outros gnatostomados, mas na maioria das espécies é reforçado com polígonos calcificados de hidroxapatita ou tesselas (COMPAGNO, 2005). O condroneurocrânio consiste de uma caixa craniana axial e medial contendo o cérebro e as cápsulas laterais sensitivas dos órgãos olfativos, auditivos e visuais.

Existem vários estudos sobre o condroneurocrânio pós-neonato de tubarões e raias, dos quais os de Gegenbaur em 1872 e Holmgren em 1941 são os mais importantes (COMPAGNO, 2005). Infelizmente, os condrocrânios, de relativamente poucas espécies, foram descritos e ilustrados em detalhe na

literatura, e os estudos os tubarões *carcharhinoïdes* são escassos, apesar da sua abundância, diversidade e importância na fauna moderna dos tubarões.

O uso de característica condrocranial para representação de tubarões tem sido limitado, especialmente para a fase juvenil. Gegenbaur's em 1872 e Holmgren's em 1941, em seus estudos comparativos, não tiveram sucesso na classificação de tubarões, embora Holmgren propôs uma filogenia de tubarões e raias com base nas características craniais (COMPAGNO, 2005).

A maioria dos pesquisadores como Gegenbaur em 1872 divide o condrocânio em quatro regiões externas, Figura 1: a região etmoidal, incluindo o rosto e cápsulas nasais; a região orbital (óbito-temporal ou esfenoidal), incluindo os órbitos entre a placa basal e o teto do crânio; a região ótica (auditiva), incluindo as cápsulas óticas e a placa basal, e a região occipital que fica na extremidade posterior do condrocânio, (COMPAGNO, 2005).

O rosto inclui as cartilagens rostrais e estruturas associadas; as cápsulas nasais incluem a placa internasal; a parte superior do condrocânio inclui a parte superior dorsal da cavidade cerebral a partir da fontanela anterior da fossa parietal; a placa basal inclui a parte inferior medioventral da cavidade cerebral que se estende desde as cápsulas nasais ao centrum occipital; as órbitas incluem as cristas supraorbital e sub-orbitais, as cavidades laterais que são os olhos separados um do outro pela parte anterior da placa basal e a parte superior do condrocânio. As cápsulas óticas são estruturas pareadas do ouvido interno separados pelas extremidades inferiores da placa basal e da parte superior craniana, e articula-se com a hiomandíbula através das facetas hiomandibular, Figura 1.

Diante desta problemática este estudo objetiva verificar a hipótese sugerida na literatura de duas populações da espécie *R. porosus* na costa do Brasil. Uma delas corresponderia à costa setentrional do Nordeste (RN) e a outra à costa oriental desta região (PE), o que implicaria em que o padrão oceanográfico pode representar uma componente importante na estruturação das populações dessa espécie na área de estudo.

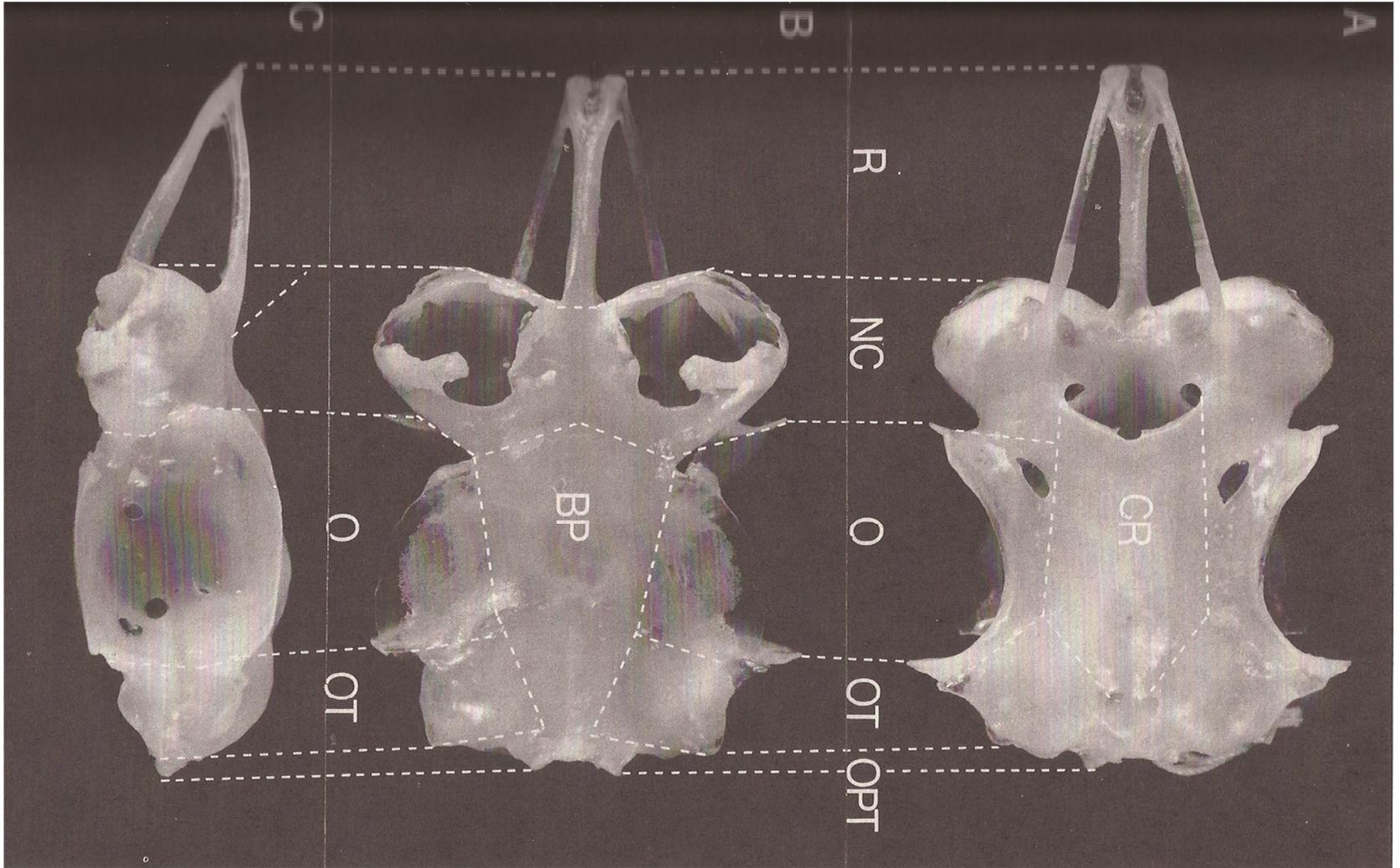


Figura 1. Regiões do condrocânio de *Rizhoprionodon porosus*.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção, os métodos estão divididos em duas partes, a primeira referente à morfometria geométrica, na segunda parte, em relação aos principais conceitos de análise multivariada (análise de componentes principais, análise de agrupamento e análise de discriminante).

3.1 DADOS

O conjunto de dados é composto de 56 condrocrânios de *R. porosus* referentes da região de Pernambuco, em que 8 são adultos e 48 juvenis, 28 referentes ao Rio Grande do Norte, em que 6 são adultos e 22 juvenis. Para cada condrocrânio foram registrados 17 marcos anatômicos, como visto na figura 1 e 2. Os tubarões eram identificados como adultos se seu comprimento total era maior que 65 cm se macho e 70 cm se fêmea (COMPAGNO, 1984). A imagem dos condrocrânios foi capturada por uma câmera Sony modelo DSC-P200 e armazenadas em arquivos de imagem jpeg. Para uniformização, criou-se um suporte, onde a câmera digital foi acoplada, estabelecendo assim, uma altura padrão (45 cm) para todas as imagens, posteriormente, as imagens foram marcadas com 17 marcos anatômicos (conjunto de coordenadas características de uma forma), como ilustra a Figura 2 e 3.

Através do software Image J, foram extraídas os valores das coordenadas em pixel das imagens, para garantir à padronização as imagens foram rotacionadas, transladadas e escalonadas através das coordenadas de Procrustes formando assim 84 matrizes numéricas bidimensionais. As variáveis em estudo estão listadas na Tabela 1 e correspondem às distâncias entre alguns marcos anatômicos.

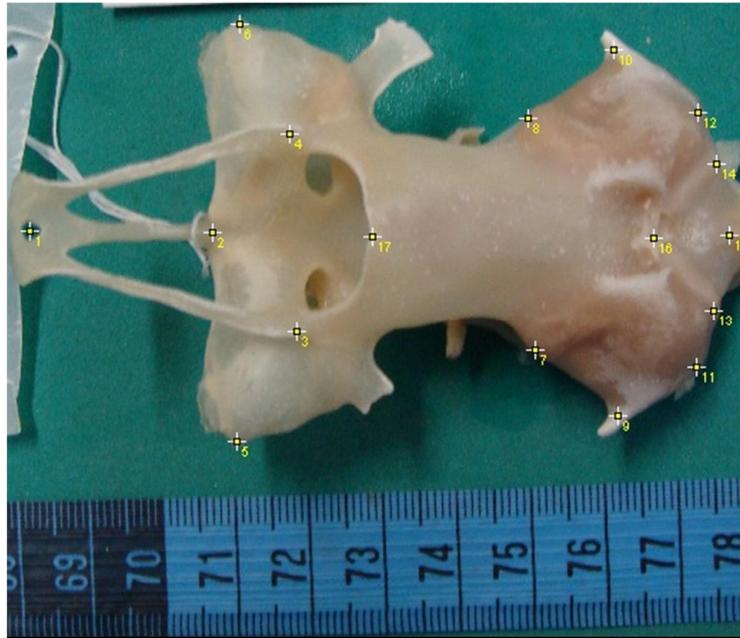


Figura 2. Marcas anatômico do condrocânio do *Rhizoprionodon porosus* de Pernambuco. 1- RF; 2- BR; 3- LRL; 4- LRR; 5- NCL; 6- NCR; 7- OL; 8- OR; 9- PTL; 10- PTR; 11- FGL; 12- FGR; 13- FVL; 14- FVR; 15- FM; 16- PRF; 17- AF.

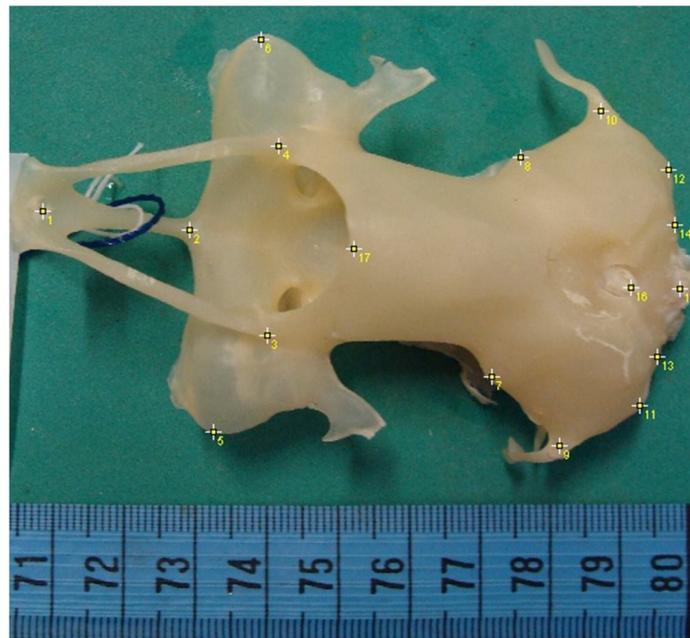


Figura 3. Marcas anatômico do condrocânio do *Rhizoprionodon porosus* do Rio Grande do Norte. 1- RF; 2- BR; 3- LRL; 4- LRR; 5- NCL; 6- NCR; 7- OL; 8- OR; 9- PTL; 10- PTR; 11- FGL; 12- FGR; 13- FVL; 14- FVR; 15- FM; 16- PRF; 17- AF.

Tabela 1. Variáveis morfológicas dos condrocânios de *R. porosus*

Variável	Notação	Variável	Notação
Distância entre RF e BR	D1	Distância entre PTL e FGL	D9
Distância entre RF e LRL	D2	Distância entre PTR e FGR	D10
Distância entre RF e LRR	D3	Distância entre FGL e FVL	D11
Distância entre NCL e NCR	D4	Distância entre FGR e FVR	D12
Distância entre NCL e OR	D5	Distância entre FVL e FM	D13
Distância entre NCR e OL	D6	Distância entre FVR e FM	D14
Distância entre OL e PTL	D7	Distância entre FM e PRF	D15
Distância entre OR e PTR	D8	Distância entre PRF e AF	D16

3.2 MORFOMETRIA GEOMÉTRICA

Durante a década de 80, ocorreu uma revolução metodológica no estudo da morfometria, fazendo com que houvesse a necessidade de um embasamento teórico e filosófico com o surgimento de uma área de pesquisa na fronteira entre a Biologia, a Estatística e a Geometria (MONTEIRO e REIS, 1999). BOOKSTEIN (1991) define o termo morfometria como o estudo estatístico da covariância entre mudanças de formas e fatores causais, o que implica na busca de causas das diferenças de forma entre organismos, sejam elas ecológicas ou filogenéticas. O conceito de forma é qualquer propriedade de uma configuração de pontos que não se altera por efeitos de tamanho, posição e orientação (BOOKSTEIN, 1989a).

A morfometria geométrica é um conjunto de novas técnicas no estudo da forma de estruturas biológicas onde se utilizam os marcos anatômicos (ROHLF & MARCUS, 1993). Na morfometria geométrica, o tamanho é definido em termos do centróide da configuração de marcos anatômico. O centróide é o ponto médio dos marcos anatômico, ou seja, o centro de gravidade do conjunto de marcos

anatômicos do objeto. O tamanho do centróide é a raiz quadrada da soma das variâncias dos marcos anatômico em relação ao centróide (BOOKSTEIN, 1991).

Quando as configurações de marcos anatômico estão centradas em um lugar comum, proporcionalizadas de modo que todas tenham o mesmo tamanho e rotacionadas segundo critério de otimização, as coordenadas resultantes destas transformações localizam um ponto no espaço de forma “*shape space*” chamado de espaço de forma de Kendall (KENDALL, 1984; 1989). A métrica do espaço de Kendall é chamada distância de Procrustes (distâncias geodésicas). A distância entre dois pontos nesse espaço multidimensional representa a distância entre duas formas. A distância de Procrustes é uma maneira de medir a diferença entre duas formas, onde o espaço de forma é não-euclidiano (KENDALL, 1984).

3.3 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica bastante utilizada para avaliar padrões de variação e covariação dentre e entre um conjunto de amostras, como populações e espécies, sem definir a priori os grupos de interesse. Essa técnica é utilizada com o objetivo de transformar um conjunto de variáveis X_1, X_2, \dots, X_p que apresentam uma estrutura de interdependência, complicada, em um conjunto de variáveis Y_1, Y_2, \dots, Y_p , que sejam não correlacionadas, denominadas de componentes principais.

Os componentes principais são definidos segundo o seguinte modelo:

$$Y_i = a_{i1}X_1 + a_{i2}X_2 + \dots + a_{ip}X_p \quad (4.1)$$

onde, Y_i é o i -ésimo componente principal ($i=1,2,\dots,p$);

X_j é a j -ésima variável ($j=1,2,\dots,p$);

a_{ij} é o coeficiente de ponderação da j -ésima variável no i -ésimo componente.

Estas novas variáveis Y_i são combinações lineares das variáveis originais e são deduzidas em ordem decrescente de importância, de modo que o primeiro componente principal contém o máximo possível da variação nos dados originais, $VAR(Y_1) > VAR(Y_2) > \dots > VAR(Y_p)$, onde $VAR(Y_i)$ denomina-se a variância de Y_i no conjunto de dados considerado. Desta forma, podemos verificar se os primeiros componentes podem explicar a maior parte da variação nos dados e reduzir a dimensionalidade efetiva do problema para menor que p , número original de variáveis. Segundo JOHNSON e WICHERN (1992) os primeiros componentes devem absorver de 80 a 90% da variação total, para serem usados como substitutos dos dados originais.

Os componentes são obtidos pela solução do sistema de equações abaixo:

$$\det(\Sigma - \lambda_i I) = 0 \quad (4.2)$$

onde, Σ é a matriz de covariância, λ_i são as raízes características ou autovalores de Σ e I é a matriz identidade $p \times p$. A importância relativa (Imp.) de cada componente é avaliada pela porcentagem da variação total que ele explica (JOHNSON e WICHERN, 1992) e é expressa da seguinte forma:

$$\text{Imp. } Y_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} * 100 = \frac{\lambda_i}{\text{traço}\Sigma} * 100 \quad (4.3)$$

Associado ao autovalor λ_i existe um autovetor a_i obtido do sistema $(\Sigma - \lambda_i I)$, e fazendo-se $a_i^* = \frac{a_i}{\|a_i\|}$ encontra-se o autovetor normalizado. Os autovalores de Σ correspondem às variâncias de cada componente e os autovetores normalizados aos coeficientes de ponderação dos componentes.

3.4 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

A análise de agrupamento é um método utilizado quando se deseja agrupar observações, indivíduos ou objetos em grupos. É um processo de partição de uma população heterogênea em vários subgrupos mais homogêneos. Os algoritmos de agrupamento podem ser do tipo hierárquico e não hierárquico.

3.4.1 AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO

O método de agrupamento hierárquico consiste em uma série de sucessivos agrupamentos de elementos, onde os elementos são agregados ou desagregados. Os elementos são agrupados seguindo alguma medida de similaridade. Os grupos são geralmente representados por um gráfico bidimensional chamado de dendograma que pode ser aglomerativo ou divisório.

Nos métodos aglomerativos cada observação começa como seu próprio grupo e depois os dois elementos mais próximos são agrupados, sendo a seguir agregados com o grupo mais próximo e assim por diante, até a obtenção de um grupo único. Nos métodos divisórios, parte-se de um grupo único e separa-se as observações mais dissimilares, até que as observações sejam cada uma um grupo único.

Existe uma variedade de métodos hierárquicos, que são caracterizados de acordo com o critério utilizado para definir as distâncias entre os grupos. Entretanto, a maioria dos métodos parecem ser formulações alternativas de três grandes conceitos de agrupamento aglomerativo (ANDERBERG, 1973):

- 1) Método de ligação (vizinho mais próximo; vizinho mais distante; média e mediana)
- 2) Método da centróide
- 3) Método de Ward

De modo geral, os métodos de agrupamento hierárquico utilizam os passos de um algoritmo padrão, conforme listado abaixo. A diferença entre os métodos ocorre no passo 5, onde a função distância é definida de acordo com cada método (JOHNSON e WICHERN, 1992).

Algoritmo padrão:

Entrada: uma base de dados com N elementos.

Saída: um conjunto de grupos.

Passo 1. Iniciar com N grupos, contendo um elemento em cada grupo e uma matriz de similaridade $D_{N \times N}$;

Passo 2. Repetir;

Passo 3. Localizar a menor distância d_{UV} (maior similaridade)

Passo 4. Atualizar a matriz D, retirando os elementos U e V;

Passo 5. Atualizar a matriz D, adicionando as novas distâncias do grupo (U,V);

Passo 6. Até N-1, quando todos os elementos estarão em um único grupo.

O coeficiente de correlação cofenética mede o grau de ajuste entre a matriz de dissimilaridade (Matriz Fenética F) e a matriz resultante da simplificação proporcionada pelo método de agrupamento (matriz cofenética C), (FARRIS, 1969). Quanto maior o valor obtido para o coeficiente de correlação, menor será a distorção provocada pelo agrupamento de todos os indivíduos. Sokal e Rohlf (1962) avaliou a inadequação do método de agrupamento quando $r_{cof} < 0,7$.

A maioria dos métodos de análise de agrupamento requer uma medida de dissimilaridade entre os elementos a serem agrupados, normalmente expressos como uma função distância ou métrica.

Qualquer medida de distância entre dois pontos P e Q, é válida, se os seguintes axiomas são satisfeitos (MARDIA et al., 1979).

Seja M um conjunto, uma métrica em M é uma função $d: M \times M \rightarrow R$, tal que para quaisquer x, y e $z \in M$, tenhamos:

$$1- d(x, y) > 0, \text{ para todo } x \neq y$$

$$2- d(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y$$

$$3- d(x, y) = d(y, x) \text{ (simetria)}$$

$$4- d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y) \text{ (desigualdade triangular)}$$

As medidas de dissimilaridade entre as observações podem ser várias a mais comum delas é a distância euclidiana. A distância euclidiana entre dois elementos $X = [X_1, X_2, \dots, X_p]$ e $Y = [Y_1, Y_2, \dots, Y_p]$ é definida por:

$$d_{xy} = \left[\sum_{i=1}^p (X_i - Y_i)^2 \right]^{1/2} \quad (4.4)$$

3.4.2 AGRUPAMENTO NÃO HIERÁRQUICO

Os métodos não hierárquicos foram desenvolvidos para agrupar elementos em k grupos, onde k é a quantidade de grupos definida previamente. Os valores de k nem sempre apresentam grupos satisfatórios, então se aplica o método várias vezes a fim de encontrar o valor de k que represente melhor os grupos (BUSSAB, 1990).

Os métodos não hierárquicos são mais rápidos que os hierárquicos, pois não é necessário calcular e armazenar a matriz de similaridade durante o processamento. Os métodos não hierárquicos mais conhecidos são: *k-means* (*k*-médias) e *k-medoid* (*k*-medóide).

K-MEANS

Seja (M, ρ) um espaço métrico, X um elemento aleatório em M e $S = \{X_1, \dots, X_n\}$ uma amostra de X . Uma k -partição de S é uma classe de subconjuntos de S , $P(k) = \{C_1, \dots, C_k\}$, tal que $\bigcup_{i=1}^k C_i = S$ e $C_i \cap C_j = \emptyset$.

Seja P^k o conjunto de todas as k -partições de S . O método *k-means* consiste em encontrar $P_0^k = C_{01}, \dots, C_{0k} \in P^k$ tal que

$$V_k(S) = SQ[P_0^k] = \inf_{P \in P^k} SQ[P(k)] \quad (4.5)$$

na qual $SQ[P(k)] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k I_{(x_i \in C_j)} \rho^2(x_i, \hat{\mu}_j)$, onde

$$I_{(x \in C)} = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in C \\ 0 & \text{se } x \notin C \end{cases}$$

Onde, $\hat{\mu}_j$ é a média de Fréchet amostral de C_i . $P_0(k)$ é dito ser uma k-partição globalmente ótima de S e $V_k(S)$ é chamada de k-variância amostral de S.

Para que se tenha certeza de que uma k-partição seja globalmente ótima, é necessário que o valor de SQ avaliado nesta k-partição seja menor ou igual ao valor de SQ avaliado em todas as outras k-partições em P^k , mas o número muito grande de k-partições em P^k torna-se esta comparação impraticável. Ao invés de se buscar uma k-partição globalmente ótima, algoritmos iterativos são utilizados para encontrar uma k-partição localmente ótima.

Define-se uma vizinhança de k-partições para cada k-partição. Começando de uma k-partição inicial, a k-partição localmente ótima é encontrada movendo-se de uma k-partição para outra em sua vizinhança, de acordo com alguma regra de movimentação, até que a movimentação seja encerrada, segundo algum critério de parada. O ponto no qual a movimentação é encerrada é considerado uma k-partição localmente ótima. As regras de movimentação e de parada são determinadas pelos algoritmos iterativos.

Hartigan e Wong (1979) propõem um algoritmo, para o caso no qual $M = R^p$ e $\rho(x, y) = \|x - y\|$, que tem o objetivo de encontrar uma k-partição cuja soma de quadrados não pode ser reduzida transferindo-se um elemento de um grupo para outro. Este algoritmo considera que a vizinhança de $P(k)$ é o conjunto das k-partições que podem ser obtidas movendo-se um elemento de um grupo de $P(k)$ para outro grupo. Deve-se mover de uma k-partição $P_1(k)$ para uma k-partição $P_2(k)$ se $SQ(P_1(k)) < SQ(P_2(k))$ e o movimento é encerrado quando se atinge uma k-partição a qual, dentre as suas vizinhas, apresenta a menor soma de quadrados.

Algoritmo de Hartigan e Wong (1979)

Considere um conjunto de dados contendo M observações e o número de grupos é K . Seja $NC(L)$ o número de elementos no grupo L e $D(I,L)$ a distância entre a observação I e a média do grupo L . Forneça um conjunto de K vetores n -dimensionais como valores iniciais para as K -médias.

Passo 1. Para cada $I(I=1,\dots,M)$, encontre a sua média mais próxima e sua segunda média mais próxima, $IC1(I)$ e $IC2(I)$, respectivamente. Atribua o ponto I ao grupo $IC1(I)$.

Passo 2. Atualize as médias dos grupos para serem as médias dos pontos contidos dentre deles.

Passo 3. Inicialmente, todos os grupos pertencem ao conjunto ativo.

Passo 4. (*Optimal transfer stage*): Considere cada ponto $I(I=1,\dots,M)$. Se o grupo $L(L=1,\dots,M)$ foi atualizado no passo 6, então ele pertence ao conjunto ativo. Caso contrário, em cada passo, ele não está no conjunto ativo se ele não foi atualizado nos últimos M passos do passo 4. Seja $L1$ o grupo do ponto I . Se $L1$ está no conjunto ativo, vá para o passo 4a. Caso contrário, vá para o passo 4b.

Passo 4a. Calcule o mínimo da quantidade $R2 = \frac{NC(L)D(I,L)^2}{NC(L)+1}$, sobre todos os grupos $L(L \neq L1, L=1,\dots,K)$. Seja $L2$ o grupo com menor $R2$. Se este valor é maior ou igual que $\frac{NC(L1)D(I,L)^2}{NC(L1)-1}$, realocação não é necessária e $L2$ é o novo $IC2(I)$. (Note que $\frac{NC(L1)D(I,L)^2}{NC(L1)-1}$ é lembrado e permanecerá o mesmo para o ponto I até que $L1$ seja atualizado)

Caso contrário, o ponto I é alocado no grupo $L2$ e $L1$ é o novo $IC2(I)$. As médias dos grupos são atualizadas para serem as médias dos pontos atribuídos a eles se realocação tem ocorrido. Os dois pontos envolvidos na transferência do ponto I neste passo estão agora no conjunto ativo.

Passo 4b. Este passo é idêntico ao 4a, exceto que o mínimo de $R2$ é calculado somente sobre os grupos no conjunto ativo.

Passo 5. Pare se o conjunto ativo estiver vazio. Caso contrário, vá para o passo 6.

Passo 6. (*Quick transfer stage*): Considere cada ponto $I(I= 1, \dots, M)$. Faça $L1= IC1(I)$ e $L2= IC2(I)$. Não é necessário checar o ponto I se ambos os grupos $L1$ e $L2$ não mudaram nos últimos M passos. Calcule os valores $R1 = \frac{NC(L1)D(I,L)^2}{NC(L1)-1}$ e $R2 = \frac{NC(L)D(I,L)^2}{NC(L)+1}$. (Como notado anteriormente, $R1$ é lembrado e permanecerá o mesmo até que $L1$ seja atualizado).

Se $R1$ é menor que $R2$, o ponto I permanece no grupo $L1$. Caso contrário, troque $IC1(I)$ com $IC2(I)$ e atualize as médias dos grupos $L1$ e $L2$. Os dois grupos são também notados por seu envolvimento numa transferência neste passo.

Passo 7. Se nos últimos M passos nenhuma transferência foi realizada, vá para o passo 4. Caso contrário, vá para o passo 6.

3.5 ANÁLISE DE DISCRIMINANTE

Análise de discriminante é uma técnica de análise multivariada freqüentemente utilizada com o objetivo de diferenciar populações e/ou classificar objetos em populações pré-definidas quando a variável dependente é categórica (nominal ou não-métrica) e as variáveis independentes são métricas.

Uma das diferenças entre análise de discriminante e análise de agrupamento é que nesta deseja-se formar k grupos homogêneos na amostra, sem o conhecimento a priori da alocação dos objetos nos grupos.

Na análise de discriminante, conhece-se a priori a que populações pertencem os objetos da amostra. Para a aplicação de uma análise de agrupamento é necessário ter uma amostra na qual foram observadas p variáveis aleatórias. Para a análise de discriminante, uma amostra de cada uma de g populações é coletada e além das p variáveis observadas para cada objeto das amostras é preciso saber de que população cada amostra provém.

Os principais objetivos da análise de discriminante são (HAIR, 2005):

- Encontrar funções das variáveis observadas que possam explicar as diferenças entre as g populações;
- Determinar funções das variáveis observadas que permitam classificar novos objetos em uma das g populações;

3.5.1 FUNÇÃO DISCRIMINANTE LINEAR DE FISHER (1936)

Considere $\underline{\mu}_i$ e Σ parâmetros conhecidos, isto é, o vetor de média p-variado e a matriz de ordem p, de covariâncias comuns das populações Π_i , ($i=1,2$), respectivamente.

Demonstra-se que a função linear do vetor aleatório $\underline{X}' = [X_1, \dots, X_p]'$, que produz separação máxima entre as duas populações, é estabelecida pela seguinte expressão:

$$fd(x) = \underline{l}' X = [\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2]' \Sigma^{-1} \underline{X} \quad (4.6)$$

A qual é denominada função discriminante linear de Fisher. Seja $fd(\underline{x}_0) = \underline{l}' \underline{x}_0 = [\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2]' \Sigma^{-1} \underline{x}_0$ o valor da função de discriminante para uma nova observação x_0 e seja

$$m = \frac{1}{2} [\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2]' \Sigma^{-1} [\underline{\mu}_1 + \underline{\mu}_2] = \frac{1}{2} [\underline{l}' \underline{\mu}_1 + \underline{l}' \underline{\mu}_2]$$

logo,

$$m = \frac{1}{2} [fd(\underline{\mu}_1) + fd(\underline{\mu}_2)] \quad (4.7)$$

onde, m é o ponto médio entre as duas médias populacionais univariadas $fd(\underline{\mu}_1)$ e $fd(\underline{\mu}_2)$. A regra de classificação é dada por:

$$\begin{cases} \text{alocar } \underline{x}_0 \text{ em } \Pi_1 \text{ se } [\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2]' \Sigma^{-1} \underline{x}_0 \geq m \\ \text{alocar } \underline{x}_0 \text{ em } \Pi_2 \text{ se } [\underline{\mu}_1 - \underline{\mu}_2]' \Sigma^{-1} \underline{x}_0 < m \end{cases} \quad (4.8)$$

Considerando normalidade da população e utilizando-se das estimativas dos parâmetros, podemos estimar \underline{l} e m a partir das observações que já foram corretamente classificadas.

Suponhamos que temos n_1 observações da variável aleatória multivariada $\underline{X}' = [X_1, \dots, X_p]$ de Π_1 e n_2 medidas destas quantidades de Π_2 . As respectivas matrizes de dados são:

$$X_1 = [\underline{x}_{11}, \dots, \underline{x}_{1n_1}] \text{ e } X_2 = [\underline{x}_{21}, \dots, \underline{x}_{2n_2}]$$

onde, X_1 são observações da distribuição normal p -variada $N_p(\underline{\mu}_1, \Sigma)$ e X_2 também apresenta distribuição normal p -variada $N_p(\underline{\mu}_2, \Sigma)$. Dada as matrizes de dados, as matrizes de covariâncias e os vetores de médias amostrais são dados por:

$$\bar{\underline{x}}_1 = \frac{1}{n_1} \sum_{j=1}^{n_1} \underline{x}_{1j}; \quad \text{e} \quad \bar{\underline{x}}_2 = \frac{1}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} \underline{x}_{2j}$$

$$S_1 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum_{j=1}^{n_1} (\underline{x}_{1j} - \bar{\underline{x}}_1) (\underline{x}_{1j} - \bar{\underline{x}}_1)'; \quad \text{e} \quad S_2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{j=1}^{n_2} (\underline{x}_{2j} - \bar{\underline{x}}_2) (\underline{x}_{2j} - \bar{\underline{x}}_2)'$$

$$S_c = \frac{(n_1 - 1)S_1 + (n_2 - 1)S_2}{(n_1 + n_2 - 2)}$$

logo, a função discriminante linear amostral de Fisher é

$$fd(\underline{x}) = \underline{l}' \underline{x} = [\bar{x}_1 - \bar{x}_2]' S_c^{-1} \underline{x} \quad (4.9)$$

temos que $fd(\bar{x}_1) = \underline{l}' \underline{x}_1$ e $fd(\bar{x}_2) = \underline{l}' \underline{x}_2$

então,

$$\hat{m} = \frac{1}{2} [\bar{x}_1 - \bar{x}_2]' S_c^{-1} [\bar{x}_1 - \bar{x}_2] = \frac{1}{2} (\underline{l}' \bar{x}_1 + \underline{l}' \bar{x}_2)$$

assim,

$$\hat{m} = \frac{1}{2} [fd(\bar{x}_1) - fd(\bar{x}_2)]$$

A regra de classificação é dada por

$$\begin{cases} \text{alocar } x_0 \text{ em } \Pi_1 \text{ se } [\bar{x}_1 - \bar{x}_2]' S_c^{-1} x_0 \geq \hat{m} \\ \text{alocar } x_0 \text{ em } \Pi_2 \text{ se } [\bar{x}_1 - \bar{x}_2]' S_c^{-1} x_0 < \hat{m} \end{cases} \quad (4.10)$$

Os métodos de estimação das probabilidades de má classificação da função discriminante linear de Fisher são apresentados a seguir. Dada uma tabela de contingência de acordo com a que se segue abaixo.

Tabela 2. Classificação das populações

População original	População classificada pela regra		Total
	1	2	
1	n_{11}	n_{12}	n_1
2	n_{21}	n_{22}	n_2

De acordo com Smith (1947) $\hat{p}(j / i)$ é a estimativa da probabilidade de classificarmos erroneamente uma observação de Π_i em Π_j , $i \neq j$.

$$\hat{p}(j / i) = n_{ij}/n_i, \text{ para } i \text{ e } j = 1, 2.$$

logo, a taxa de erro aparente ou êxito é dada pela seguinte expressão:

$$\hat{p}(\hat{exito}) = \frac{(n_{12} + n_{21})}{(n_1 + n_2)} \quad (4.11)$$

O método de validação cruzada é um método mais robusto para estimação das probabilidades de má classificação e é realizado de acordo com os seguintes passos.

Passo 1. Eliminar o primeiro vetor de observações da amostra conjunta, formular uma regra discriminante baseada em todos os dados restantes, usar esta regra para classificar a primeira observação e observar se esta se classifica ou não de forma correta;

Passo 2. Recolocar a primeira observação e eliminar o segundo vetor de observações dos dados, formular uma regra discriminante baseada em todos os dados restantes, usar esta regra para classificar a segunda observação e observar se esta é classificada ou não de forma correta;

Passo 3. Prosseguir eliminando uma observação de cada vez e observar se essa observação é classificada ou não de forma correta por uma regra formada a partir de todos os dados restantes;

Passo 4. Criar uma tabela igual ao método de Smith e realizar os mesmos cálculos.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão mostrados os resultados das análises multivariadas dos de condrocrânios juvenis e adultos em relação à região de captura e a análise sobre dimorfismo sexual entre os condrocrânios. Primeiramente serão abordados os resultados na seguinte sequência, análise de componentes principais, análise de discriminante e análise de agrupamento hierárquico e não hierárquico.

4.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Na análise de componentes principais verifica-se que para a faixa etária dos adultos a primeira componente explica 75,85% da variabilidade total, esta componente diz respeito às distâncias D1, D2, D3 e D16 com duas componentes tem-se 86,90% de toda variabilidade explicada, Tabela 3, 4 e Figura 4.

Tabela 3. Importância dos componentes principais para condrocrânios adulto.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	136,44	0,7585	0,7585
CP2	52,09	0,1105	0,8690
CP3	33,63	0,0461	0,9151
CP4	26,58	0,0288	0,9439
CP5	24,75	0,0250	0,9689
CP6	17,63	0,0127	0,9816
CP7	13,79	0,0078	0,9894
CP8	11,69	0,0056	0,9950
CP9	8,43	0,0029	0,9979
CP10	6,24	0,0016	0,9995
CP11	3,87	0,0005	1,0000

Tabela 4. Autovetores associados às componentes principais para condrocrânios adulto.

CP1	CP2
-0,3228	0,2379
-0,3707	-0,2330
-0,3951	-0,4732
-0,1905	-0,1335
-0,1404	0,1121
-0,1427	0,1283
-0,0828	0,0949
-0,0991	0,1206
-0,1137	0,0563
-0,1053	0,1070
-0,0405	0,1054
-0,0670	0,0351
0,0201	0,0431
-0,0421	0,1411
-0,0731	0,1543
-0,4743	-0,0961

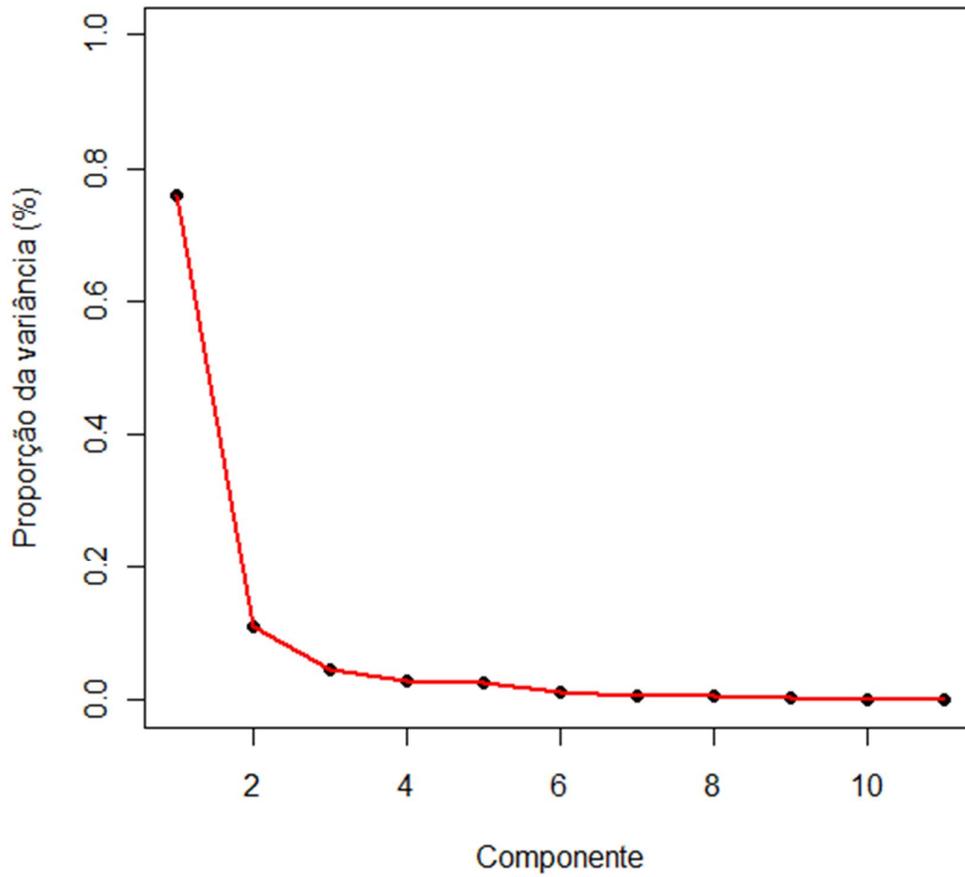


Figura 4. Variância explicada por cada componente principal dos condrocânio na fase adulta.

Para a faixa etária juvenil a primeira componente explica 69,80% da variabilidade total, e como na fase adulta esta componente referência às distâncias D1, D2, D3 e D16, com duas componentes têm-se 90,89% de toda variabilidade explicada, Tabela 5,6 e Figura 5.

Tabela 5. Importância dos componentes principais para condrocânicos juvenil.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	147,75	0,6980	0,6980
CP2	81,22	0,2109	0,9089
CP3	29,89	0,0286	0,9375
CP4	26,34	0,0222	0,9597
CP5	23,17	0,0172	0,9769
CP6	17,87	0,0102	0,9871
CP7	11,56	0,0043	0,9914
CP8	10,85	0,0038	0,9952
CP9	8,22	0,0022	0,9974
CP10	6,11	0,0012	0,9986
CP11	5,08	0,0008	0,9994
CP12	3,54	0,0004	0,9998
CP13	2,56	0,0002	1,0000

Tabela 6. Autovetores das componentes principais para condrocânicos juvenil.

CP1	CP2
0,2668	0,2113
-0,2352	0,2801
-0,2685	0,3421
0,1391	0,1254
0,1401	0,1511
0,1469	0,0703
0,1180	0,1540
0,1132	0,1158
0,0794	0,0890
0,0704	0,1138
0,0919	0,0564
0,0858	0,0415
0,0766	0,1262
0,0829	0,0349
0,1103	0,0608
-0,4879	0,6466

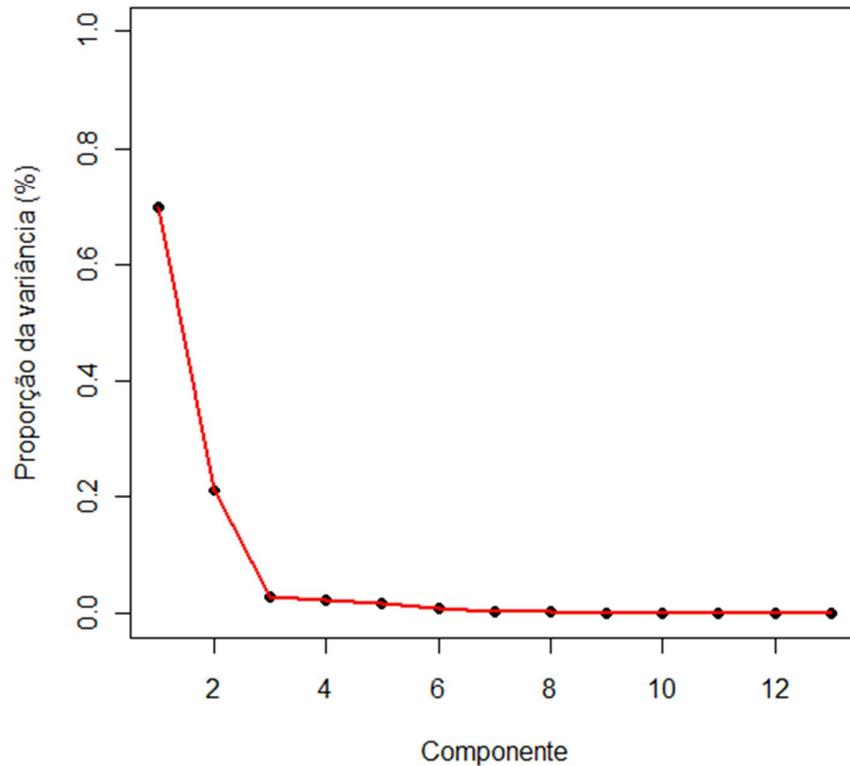


Figura 5. Variância explicada por cada componente principal dos condrocrânios na fase juvenil.

Com o intuito de diminuir a dimensionalidade das análises, os resultados a seguir são baseados nas distâncias que foram mais significativas na análise de componentes principais, ou seja, nosso espaço será reduzida para 4 dimensões. Estes resultados mostraram-se mais precisos que os anteriormente citados, pois num hiperplano de 16 dimensões tem-se mais imprecisão sobre as análises.

A média das distâncias entre as fenestras rostral e baserostral nos condrocrânios adultos de PE é de $1,79 \pm 0,15$ cm enquanto que para os de RN é de $1,87 \pm 0,21$ cm, já na fase juvenil os condrocrânios de PE apresentaram média de $1,61 \pm 0,32$ cm e do RN de $1,41 \pm 0,2$ cm, Tabela 7.

A média das distâncias entre a fenestra rostral e a cartilagem rostral esquerda nos condrocâneos adultos de PE é de $2,78 \pm 0,23$ cm enquanto que para os de RN é de $2,98 \pm 0,35$ cm, já na fase juvenil os condrocâneos de PE apresentaram média de $2,52 \pm 0,45$ cm e do RN de $2,23 \pm 0,35$ cm, Tabela 7.

A média das distâncias entre a fenestra rostral e a cartilagem rostral direita nos condrocâneos adultos de PE é de $3,01 \pm 0,3$ cm enquanto que para os de RN é de $3,19 \pm 0,4$ cm, já na fase juvenil os condrocâneos de PE apresentaram média de $2,60 \pm 0,47$ cm e do RN de $2,39 \pm 0,3$ cm, Tabela 7.

A média das distâncias entre a fossa parietal e a fontanela anterior nos condrocâneos adultos de PE é de $2,31 \pm 0,11$ cm enquanto que para os de RN é de $2,46 \pm 0,2$ cm, já na fase juvenil os condrocâneos de PE apresentaram média de $2,08 \pm 0,4$ cm e do RN de $1,82 \pm 0,23$ cm, Tabela 7.

Tabela 7. Média das distâncias dos condrocâneos de *R. porosus* em relação a área de estudo e a faixa etária.

Adulto	Distâncias (Média±DP)			
	D1	D2	D3	D16
PE	$1,79 \pm 0,15$	$2,78 \pm 0,23$	$3,01 \pm 0,3$	$2,31 \pm 0,11$
RN	$1,87 \pm 0,21$	$2,98 \pm 0,35$	$3,19 \pm 0,4$	$2,46 \pm 0,2$
Juvenil				
PE	$1,61 \pm 0,32$	$2,52 \pm 0,45$	$2,60 \pm 0,47$	$2,08 \pm 0,4$
RN	$1,41 \pm 0,2$	$2,23 \pm 0,35$	$2,39 \pm 0,3$	$1,82 \pm 0,23$

Observa-se na Figura 6, que à medida que o *R. porosus* cresce aumenta o tamanho do condrocânio, ou seja, existe uma relação linear entre o comprimento do tubarão e o comprimento do condrocânio, a reta ajustada para tal relação é dada por:

$$CC = 3,3 + 0,06 CT$$

Pela reta ajustada, temos que com um crescimento de um centímetro no comprimento total do tubarão o condrocânio cresce em média 0,06 centímetros, esta reta produziu um coeficiente de determinação de 69%, ou seja, o modelo explica 69% de toda variabilidade que poderia ser explicada.

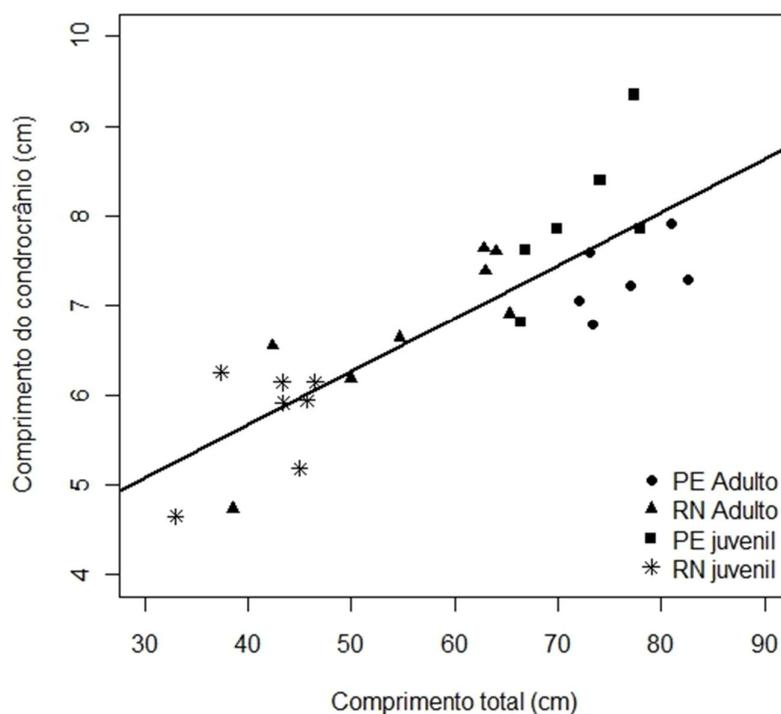


Figura 6. Dispersão entre o comprimento do condrocrânio e o comprimento total do tubarão.

4.1 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS

Verifica-se que para a faixa etária dos adultos a primeira componente explica 90,70% da variabilidade total, esta componente diz respeito as D1, D2, D3 e D16, com duas componentes tem-se 95,92% de toda variabilidade explicada, Tabela 8, 9 e Figura 7.

Tabela 8. Importância dos componentes principais para condrocrânios adulto.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	103,08	0,9070	0,9070
CP2	24,72	0,0522	0,9592
CP3	20,97	0,0375	0,9967
CP4	6,24	0,0033	1,0000

Tabela 9. Autovetores associados às componentes principais para condrocrânios adulto.

CP1	CP2
0,5524	0,4289
0,5207	0,4952
0,5716	-0,4059
0,6155	0,2975

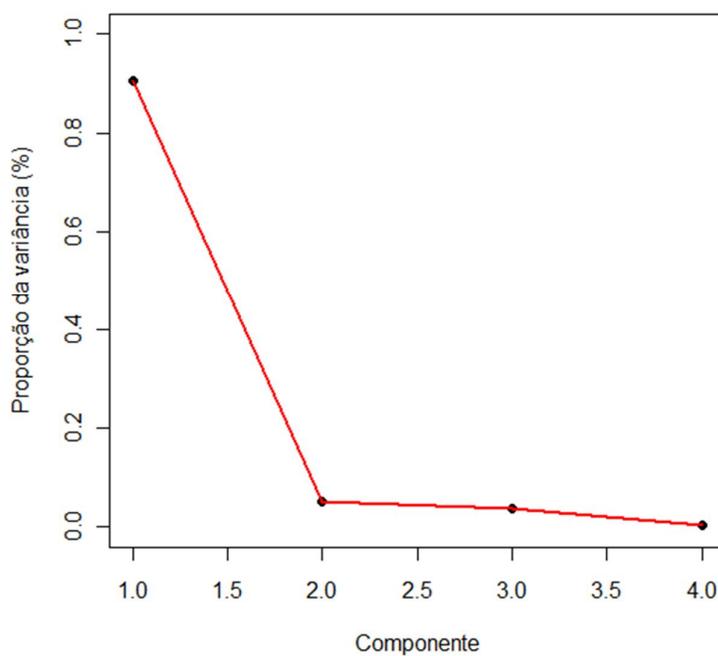


Figura 7. Variância explicada por cada componente principal dos condrocrânios na fase adulta.

Para a faixa etária juvenil a primeira componente explica 87,38% da variabilidade total, e como na fase adulta esta componente diz respeito às distâncias D1, D2, D3 e D16, com duas componentes têm-se 92,41% de toda variabilidade explicada, Tabela 10, 11 e Figura 8.

Tabela 10. Importância dos componentes principais para condrocrânios juvenil.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	111,42	0,8738	0,8738
CP2	26,74	0,0503	0,9241
CP3	26,42	0,0491	0,9732
CP4	19,49	0,0268	1,0000

Tabela 11. Autovetores associados às componentes principais para condrocrânios juvenil.

	CP1	CP2
	0,3808	-0,4733
	-0,3734	-0,4557
	-0,4342	-0,4443
	-0,7995	0,0935

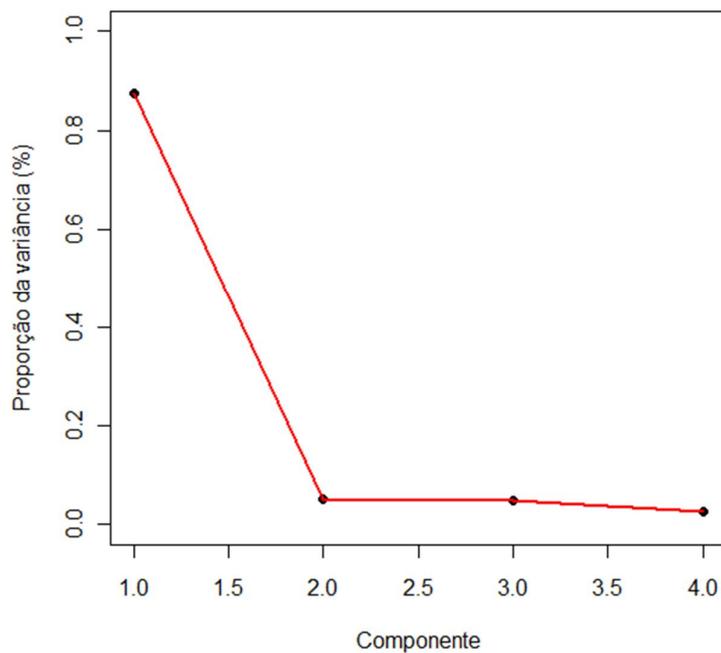


Figura 8. Variância explicada por cada componente principal dos condrocrânio na fase juvenil.

Quando comparados os condrocrânios de *R. porosus* adulto e juvenil da costa oriental (PE) observa-se que a primeira componente explica 88,08% de toda variabilidade explica, igualmente nas comparações anteriores esta componente diz respeito as distâncias D1,D2,D3 e D16, com a segunda componente tem-se 94,45% de toda variabilidade total explicada, Tabela 12 e 13 e Figura 9.

Tabela 12. Importância dos componentes principais para condrocrânios adulto e juvenil de Pernambuco.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	88,37	0,8808	0,8808
CP2	23,76	0,0637	0,9445
CP3	18,66	0,0393	0,9838
CP4	11,97	0,0162	1,0000

Tabela 13. Autovetores associados às componentes principais para condrocrânios adulto e juvenil de Pernambuco.

CP1	CP2
0,5722	-0,7112
-0,6985	0,3335
-0,6981	0,2991
-0,6394	-0,5416

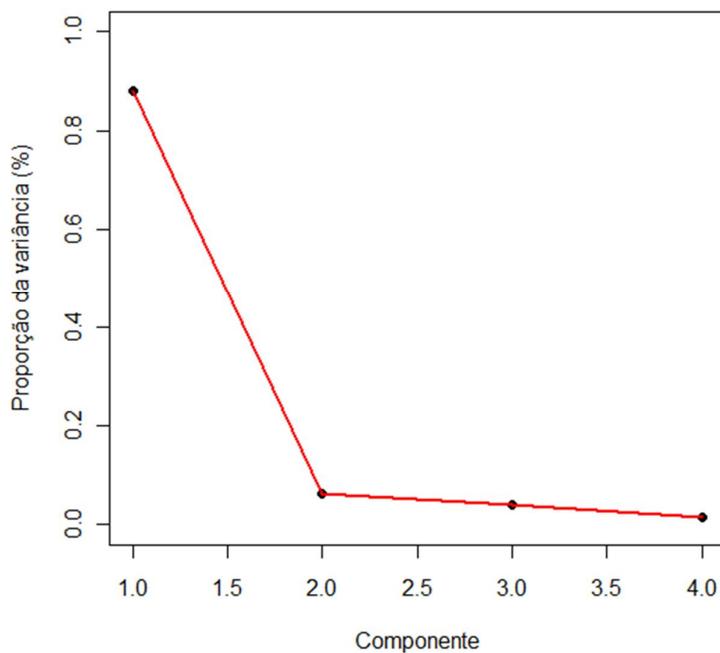


Figura 9. Variância explicada por cada componente principal dos condrocânios da costa oriental do Brasil.

Em relação aos condrocânios de *R. porosus* adulto e juvenil da costa setentrional (RN) observa-se que a primeira componente explica 84,33% de toda variabilidade explicada, igualmente nas comparações anteriores esta componente diz respeito as distâncias D1, D2, D3 e D16, com a segunda componente tem-se 93,19% de toda variabilidade total explicada, Tabela 14, 15 e Figura 10.

Tabela 14. Importância dos componentes principais para condrocânios adulto e juvenil do Rio Grande do Norte.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	96,54	0,8433	0,8433
CP2	31,29	0,0886	0,9313
CP3	22,06	0,0441	0,9760
CP4	16,30	0,0240	1,0000

Tabela 15. Autovetores associados às componentes principais para condrocrânios adulto e juvenil do Rio Grande do Norte.

CP1	CP2
0,5775	0,4614
0,6866	0,3998
0,6560	-0,4655
-0,5452	-0,7487

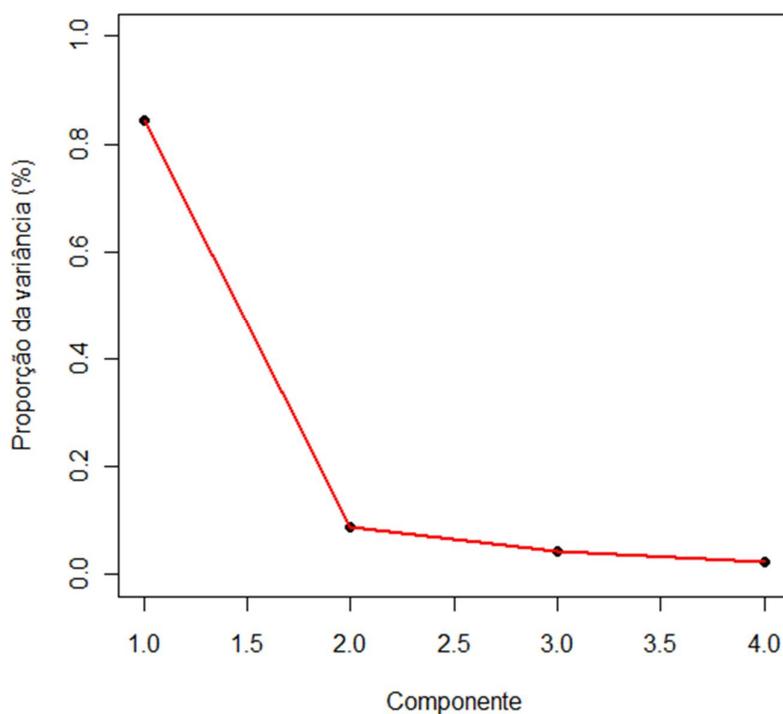


Figura 10. Variância explicada por cada componente principal dos condrocrânio da costa setentrional do Brasil.

Estudando o dimorfismo sexual, verifica-se que para os condrocrânios juvenis da costa oriental a primeira componente explica 57,08% da variabilidade total, esta componente diz respeito as D1, D2 e D3, com duas componentes tem-se 79,83% de toda variabilidade explicada, a segunda componente diz respeito a distância D16 Tabela 16, 17 e Figura 11.

Tabela 16. Importância dos componentes principais para condrocrânios juvenil da costa oriental.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	5,90	0,5708	0,5708
CP2	3,72	0,2274	0,7983
CP3	2,71	0,1204	0,9187
CP4	2,23	0,0813	1,0000

Tabela 17. Autovetores associados às componentes principais para condrocrânios juvenil da costa oriental.

	CP1	CP2
	-0,4991	0,2537
	0,6451	0,1791
	0,5733	0,1731
	-0,0775	-0,7946

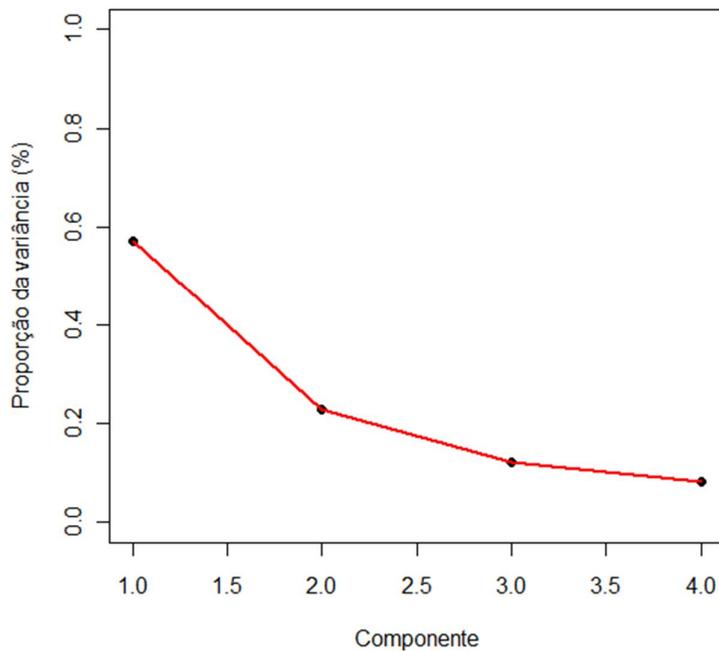


Figura 11. Variância explicada por cada componente principal dos condrocrânios juvenil da costa oriental do Brasil.

Já em relação aos condrocânios juvenis da costa setentrional a primeira componente explica 68,02% da variabilidade total, esta componente diz respeito as D1, D2 e D3, com duas componentes tem-se 87,76% de toda variabilidade explicada, a segunda componente diz respeito à distância D16, Tabela 18, 19 e Figura 12.

Tabela 18. Importância dos componentes principais para condrocânios juvenil da costa setentrional.

Componente	Autovalor	Proporção do autovalor	Proporção acumulada do autovalor
CP1	2,33	0,6802	0,6802
CP2	1,26	0,1974	0,8776
CP3	0,88	0,0978	0,9754
CP4	0,44	0,0246	1,0000

Tabela 19. Autovetores associados às componentes principais para condrocânios juvenil da costa setentrional.

CP1	CP2
0,4999	-0,1421
0,4244	-0,1949
-0,4534	-0,1394
0,3678	0,3441

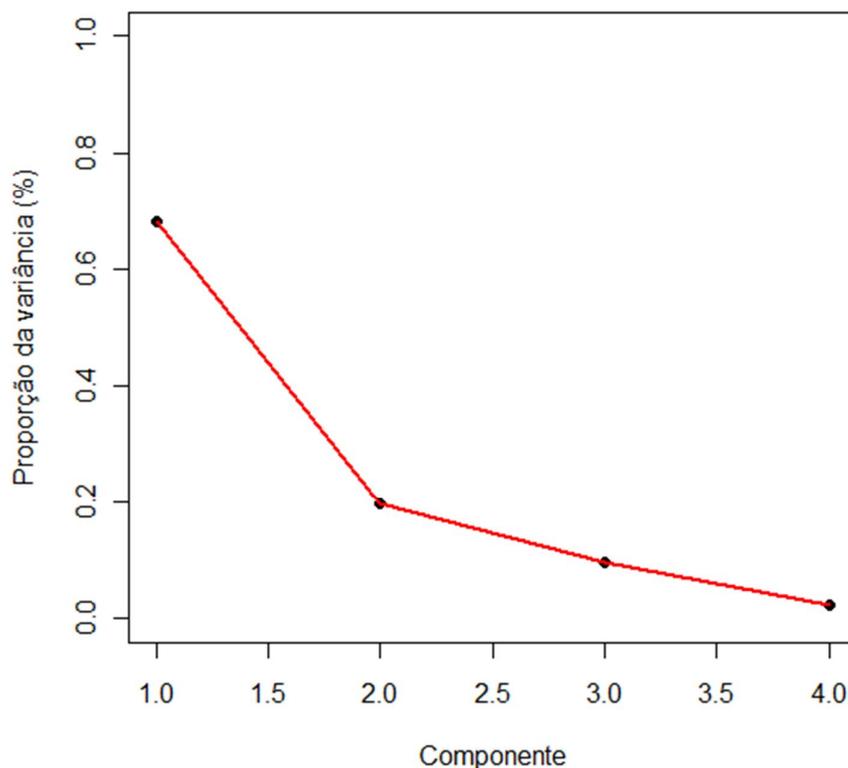


Figura 12. Variância explicada por cada componente principal dos condrocrânios juvenis da costa setentrional do Brasil.

4.2 ANÁLISE DE DISCRIMINANTE

Com o intuito de discriminar a amostra de condrocrânios provindos de Pernambuco e Rio Grande do Norte fez-se uso da técnica de análise de discriminante pelo método de validação cruzada leave-one-out.

O modelo discriminou corretamente 100,0% dos condrocrânios em ambas as fases etárias nas diferentes regiões, Tabela 20. Observa-se uma taxa de acerto de 100,0% quando comparados os condrocrânios da costa setentrional e oriental do Brasil separadamente, Tabela 21. Observa-se claramente nesta análise a discriminação de dois estoques de condrocrânios tanto para a população adulta quanto para a juvenil e ainda uma diferença dos condrocrânios em relação às fases etárias independentemente da região de habitat.

O modelo discriminou corretamente 50,0% dos condrocânios juvenil da costa oriental em relação ao sexo, a taxa de acerto dos machos foi de 50,0% e das fêmeas foi de 50,0%, Tabela 22. Observa-se uma taxa de acerto de 40,0% quando comparados os condrocânios juvenil da costa setentrional em relação ao sexo, a taxa de acerto para os machos foi de 50,0% enquanto que para as fêmeas foi de 33,3%, Tabela 22.

Tabela 20. Matriz de classificação dos condrocânios de *R. porosus* de PE e RN em relação à faixa etária.

População observada	População estimada (Adulto)			População estimada (Juvenil)		
	PE	RN	Total	PE	RN	Total
PE	7	0	7	8	0	8
RN	0	6	6	0	7	7
Total	7	6	13	8	7	15

Tabela 21. Matriz de classificação dos condrocânios de *R. porosus* da costa oriental e setentrional do Brasil em relação à faixa etária.

População observada	População estimada (PE)			População estimada (RN)		
	Adulto	Juvenil	Total	Adulto	Juvenil	Total
Adulto	7	0	7	6	0	6
Juvenil	0	8	8	0	7	7
Total	7	8	15	6	7	13

Tabela 22. Matriz de classificação dos condrocânios de *R. porosus* de PE e RN em relação ao sexo.

População observada	População estimada (PE)			População estimada (RN)		
	Macho	Fêmea	Total	Macho	Fêmea	Total
Macho	2	2	4	1	1	2
Fêmea	2	2	4	2	1	3
Total	4	4	8	3	2	5

4.3 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO

Verifica-se através dos métodos de agrupamento hierárquico claramente o agrupamento de dois estoques de condrocrânios de PE e RN tanto para a população juvenil quanto para a adulta, como visto nas Figuras de 13 e 14. Esta análise vem reforçar os resultados do método de discriminante.

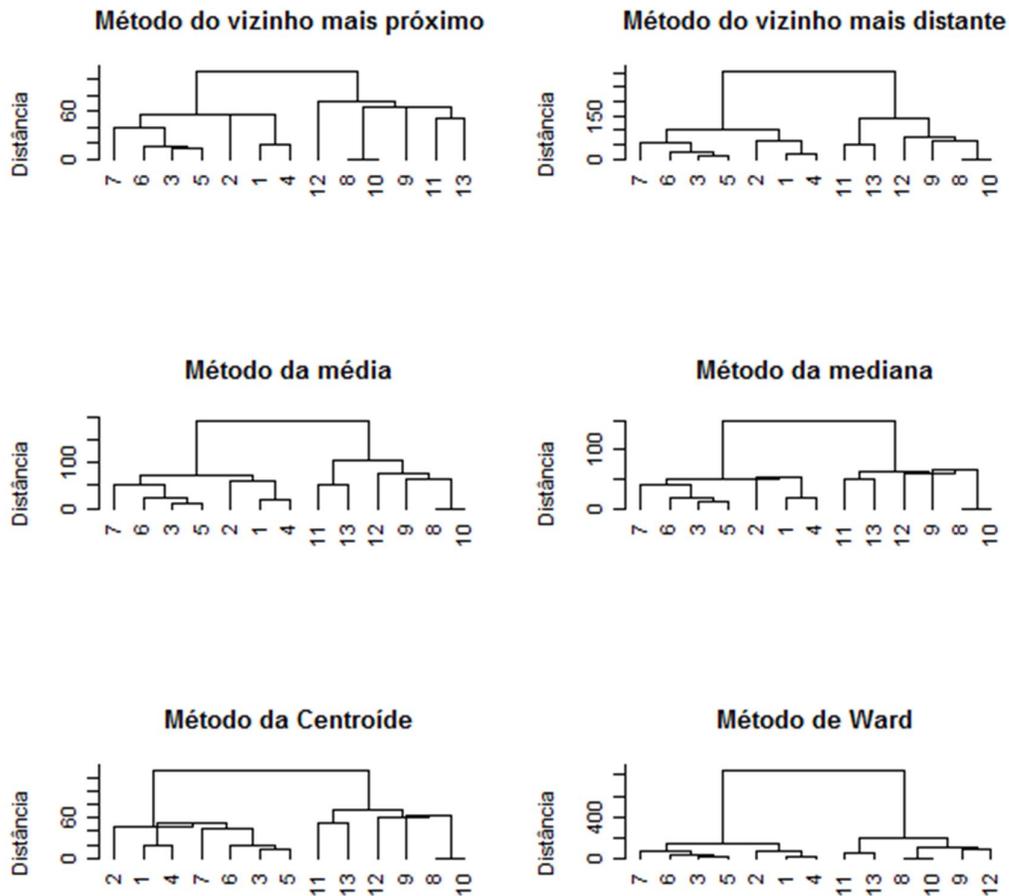


Figura 13. Dendrograma dos métodos de agrupamento para de condrocrânios de R. porosus adulto (Pernambuco- 1 a 7; Rio Grande do Norte- 8 a 13).

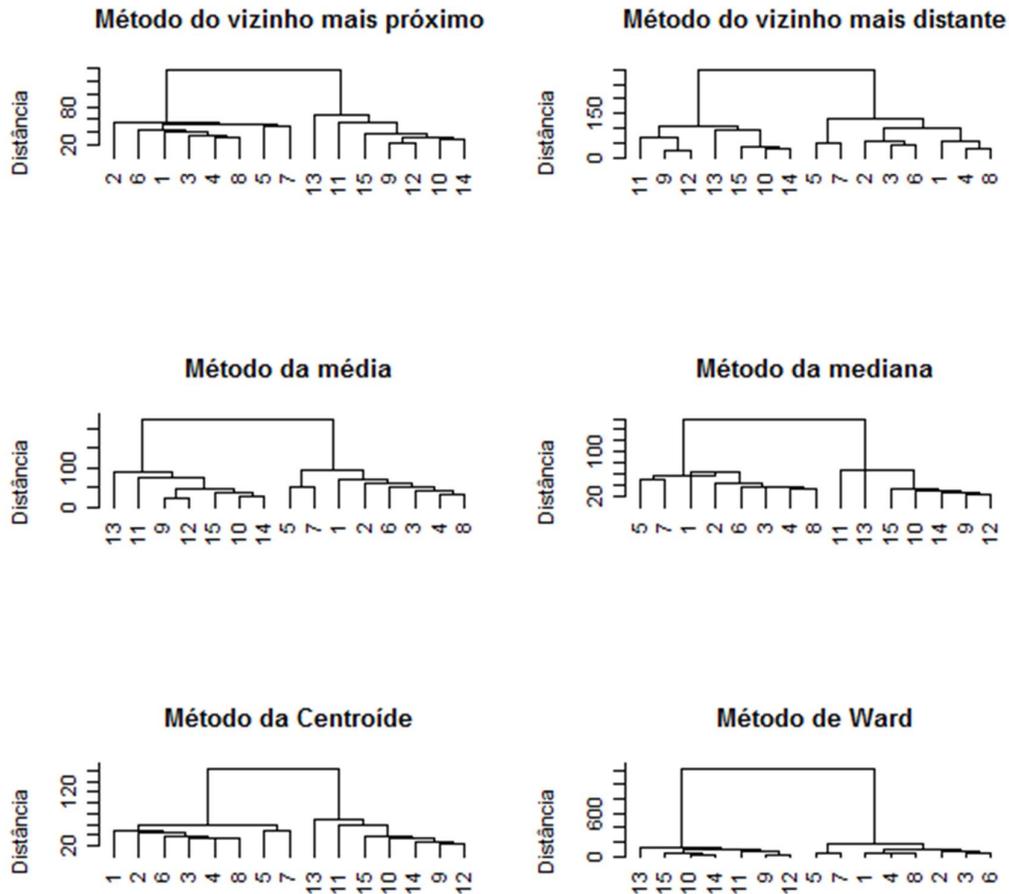


Figura 14. Dendrograma dos métodos de agrupamento para de condrocrânios de *R. porosus* juvenil (Pernambuco- 1 a 8; Rio Grande do Norte – 9 a 15).

A correlação cofenética dos métodos de agrupamento citados acima para os juvenis foram da ordem de 92% e 93%, enquanto que para os adultos foram de 83% a 85%, indicado à adequação dos agrupamentos, Tabela 23.

Tabela 23. Coeficiente de correlação cofenética (CCC) dos métodos de agrupamentos dos condrocrânios em relação à faixa etária.

Métodos de agrupamentos	CCC (adulto)	CCC (juvenil)
Vizinho mais próximo	0,83	0,93
Vizinho mais distante	0,84	0,93
Média	0,85	0,93
Mediana	0,84	0,93
Centróide	0,84	0,93
Ward	0,83	0,92

Em relação à costa oriental (PE) e a costa setentrional (RN) observam-se duas populações de condrocrânios para ambas as regiões, formados pelos condrocrânios adulto e juvenil, Figuras 15 e 16.

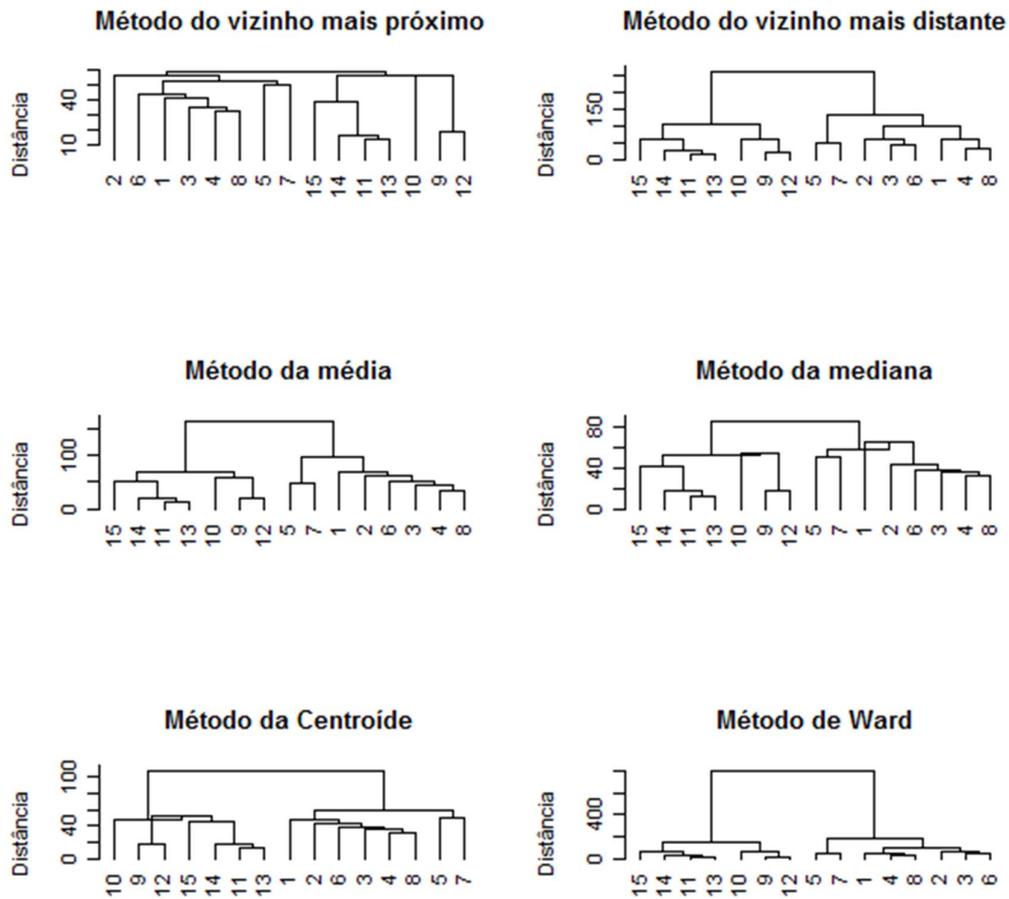


Figura 15. Dendrograma dos métodos de agrupamento para de condrocrânios de *R. porosus* da costa oriental (juvenil- 1 a 8; adulto – 9 a 15).

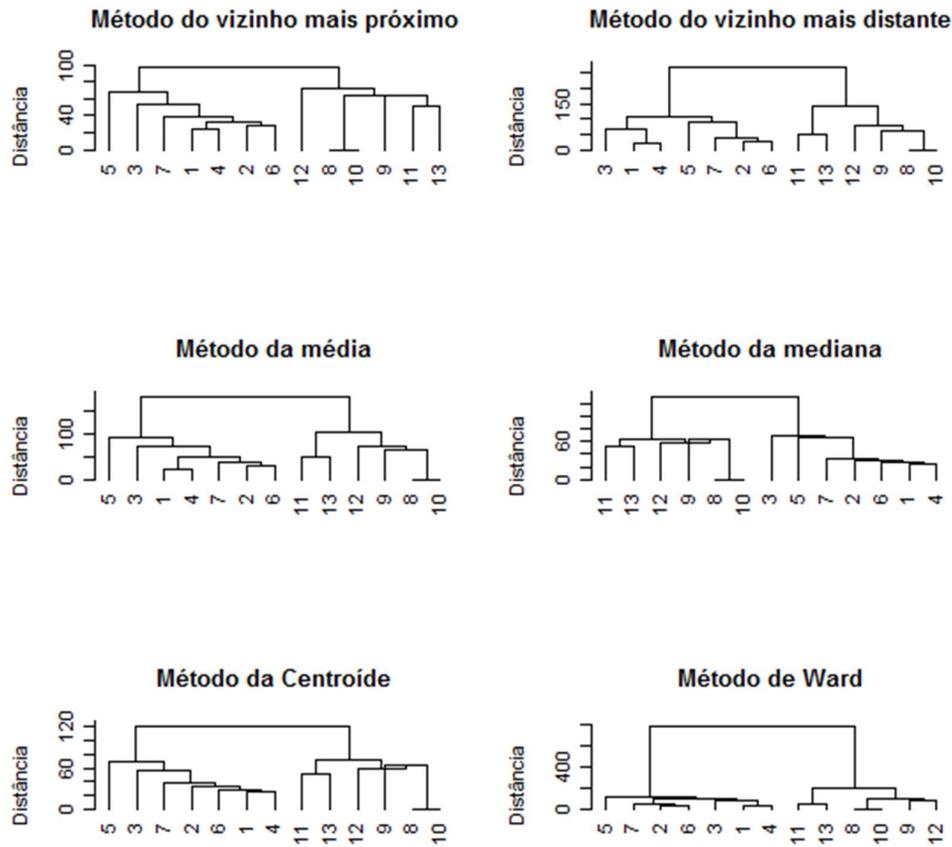


Figura 16. Dendrograma dos métodos de agrupamento para de condrocrânios de *R. porosus* da costa setentrional (juvenil- 1 a 7; adulto – 8 a 13).

Correlação cofenética dos métodos de agrupamento citados acima para os condrocrânios da costa oriental foi da ordem de 81% e 83%, enquanto que para os da costa setentrional foram de 82% a 85%, indicado à adequação dos agrupamentos, Tabela 24.

Tabela 24. Coeficiente de correlação cofenética (CCC) dos métodos de agrupamentos dos condrocrânios em relação à região de captura.

Métodos de agrupamentos	CCC (costa oriental)	CCC (costa setentrional)
Vizinho mais próximo	0,81	0,82
Vizinho mais distante	0,83	0,84
Média	0,83	0,85
Mediana	0,81	0,84
Centróide	0,83	0,85
Ward	0,81	0,83

Em todos os métodos de agrupamento não se observa uma separação dos condrocâneos juvenil de *R. porosus* da costa oriental em relação ao sexo do tubarão, Figura 17, o mesmo pode ser observado para os condrocâneos da costa setentrional, Figura 18.

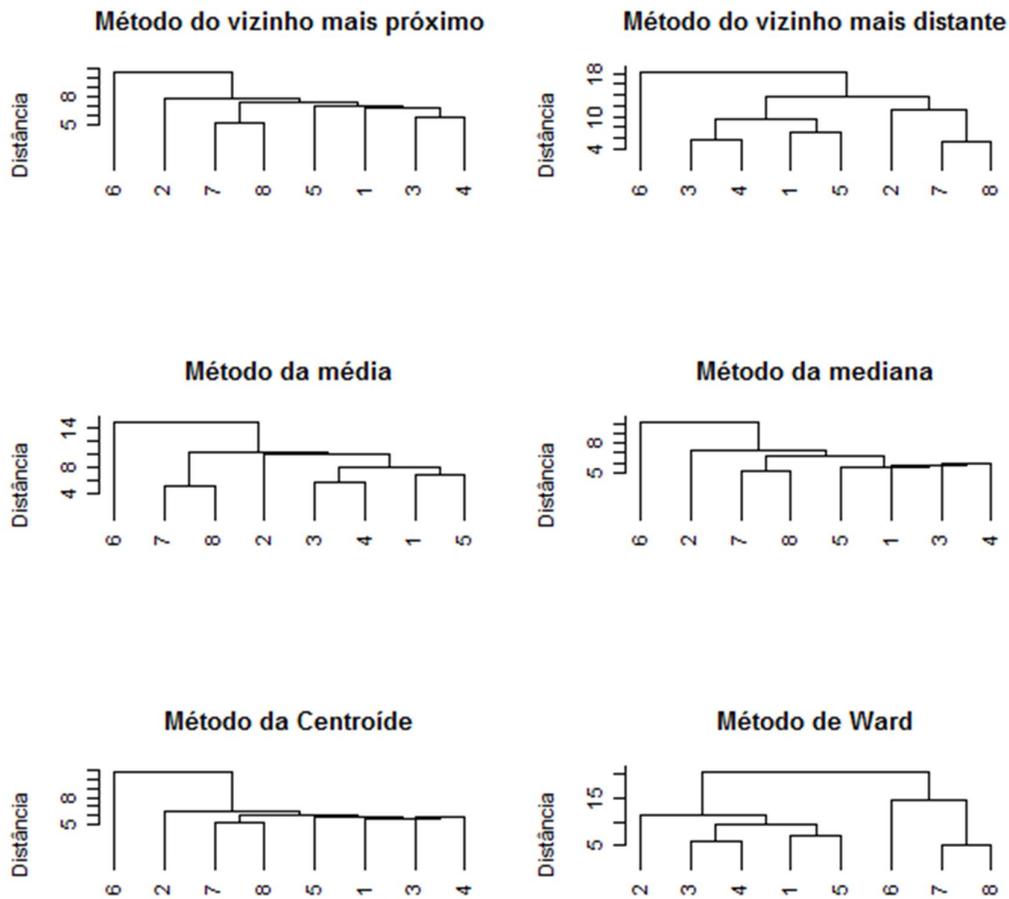


Figura 17. Dendrograma dos métodos de agrupamento em relação aos condrocâneos juvenil de *R. porosus* da costa oriental (Machos- 1,2,3 e 6; Fêmeas- 4,5,7 e 8).

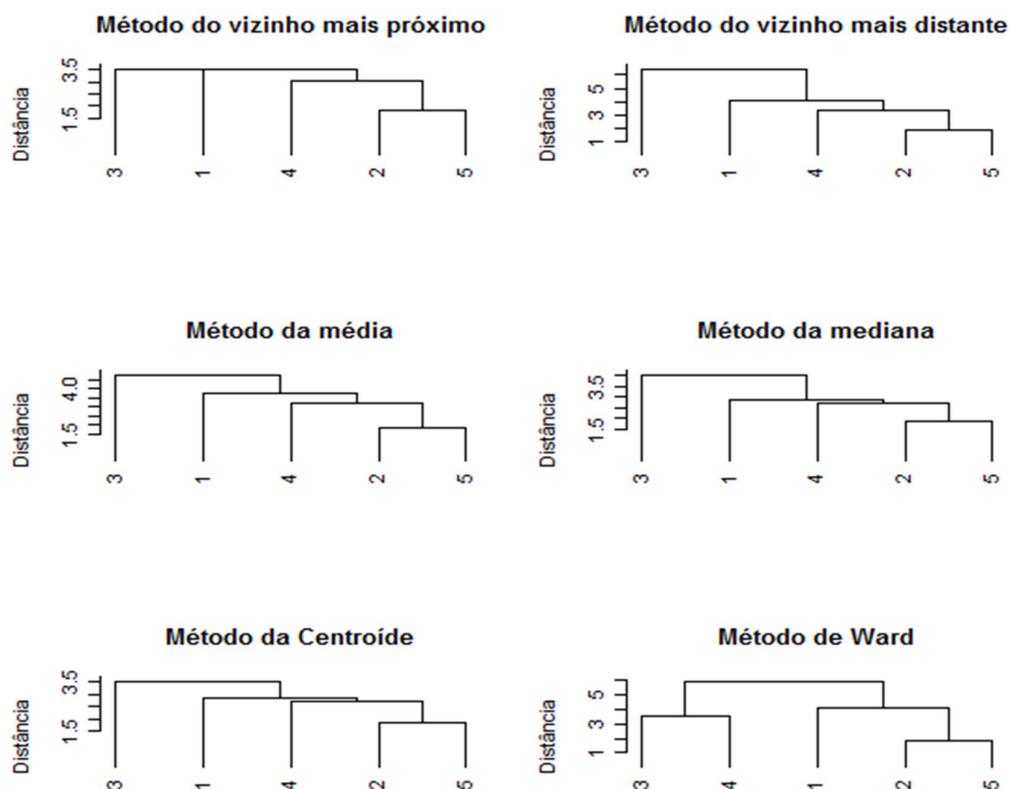


Figura 18. Dendrograma dos métodos de agrupamento em relação aos condrocrânios juvenil de *R. porosus* da costa oriental (Machos- 2 e 3; Fêmeas- 1,4 e 5).

A correlação cofenética dos métodos de agrupamento citados acima para os condrocrânios da costa oriental foi da ordem de 79% a 82%, enquanto que para os da costa setentrional foram de 76% a 78%, indicado à adequação dos agrupamentos, Tabela 25.

Tabela 25. Coeficiente de correlação cofenética (CCC) dos métodos de agrupamentos dos condrocrânios em relação ao sexo do tubarão e a região de captura.

Métodos de agrupamentos	CCC (costa oriental)	CCC (costa setentrional)
Vizinho mais próximo	0,80	0,77
Vizinho mais distante	0,79	0,76
Média	0,82	0,78
Mediana	0,79	0,77
Centróide	0,75	0,77
Ward	0,80	0,77

4.4 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO NÃO-HIERÁRQUICO (K-MEANS)

Pelo método de *k-means* observa-se novamente a separação de dois grupos tanto para população adulta quanto para os juvenis. A taxa de acerto pelo método de *k-means* foi de 100% para ambas as populações, Figuras 19 e 20. Quando comparados os condrocrânios da costa oriental e da costa setentrional do Brasil separadamente a taxa de acerto foi de 100,0% para ambas as localidades, sugerindo assim dois estoques de condrocrânio em cada região de captura, Figura 21 e 22. Através da análise de *k-means* nota-se que não existe diferença entre os condrocrânios juvenil de *R. porosus* da costa oriental e da setentrional em relação ao sexo do tubarão, a taxa de acerto foi de 50,0% para a costa oriental, enquanto que para a costa setentrional a taxa de acerto foi de 60,0%, Figura 23 e 24.

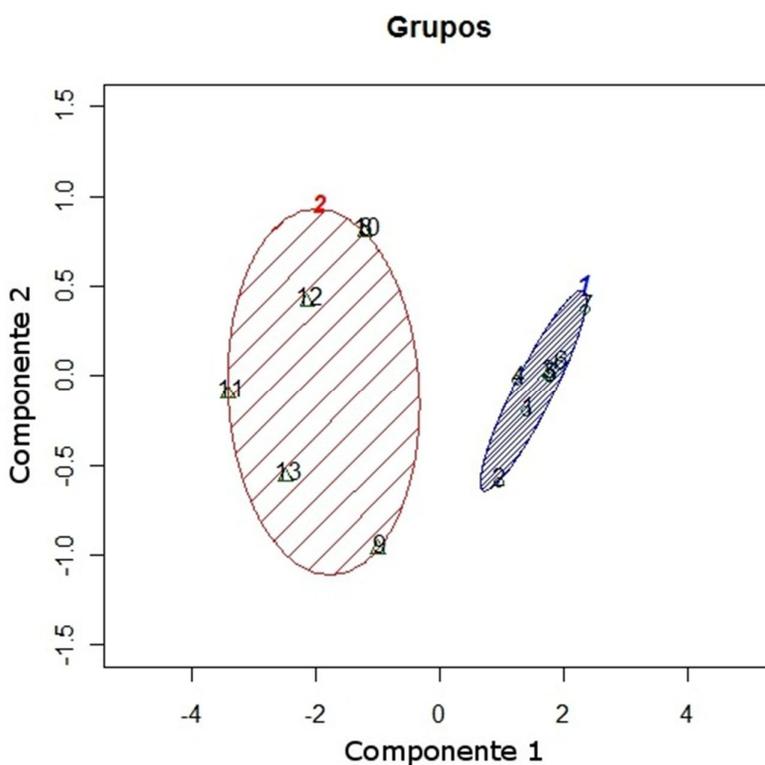


Figura 19. Agrupamento não hierárquico dos condrocrânios de *R. porosus* adulto (em azul – Rio Grande do Norte; vermelho – Pernambuco).

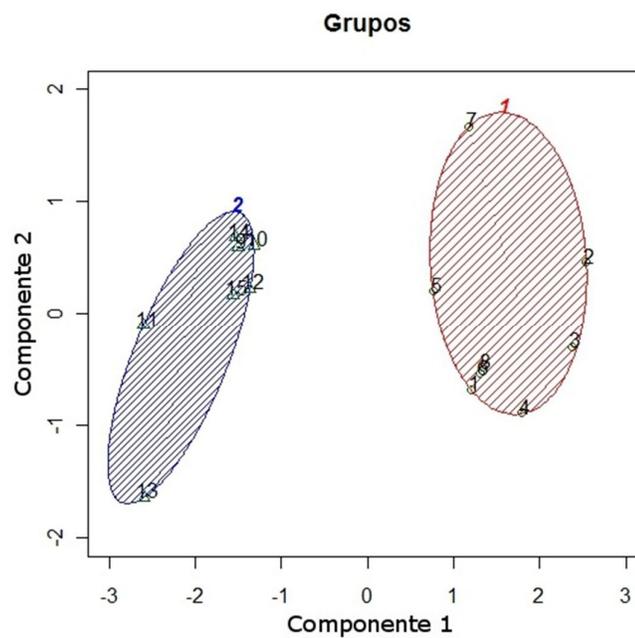


Figura 20. Agrupamento não hierárquico dos condrocânios de *R. porosus* juvenil (em azul – Rio Grande do Norte; vermelho – Pernambuco).

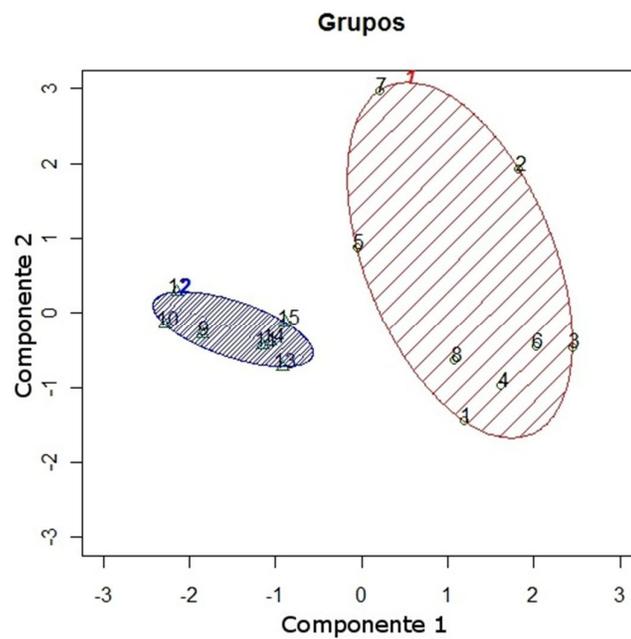


Figura 21. Agrupamento não hierárquico dos condrocânios de *R. porosus* da costa oriental (PE) do Brasil (em azul - adulto; vermelho – juvenil).

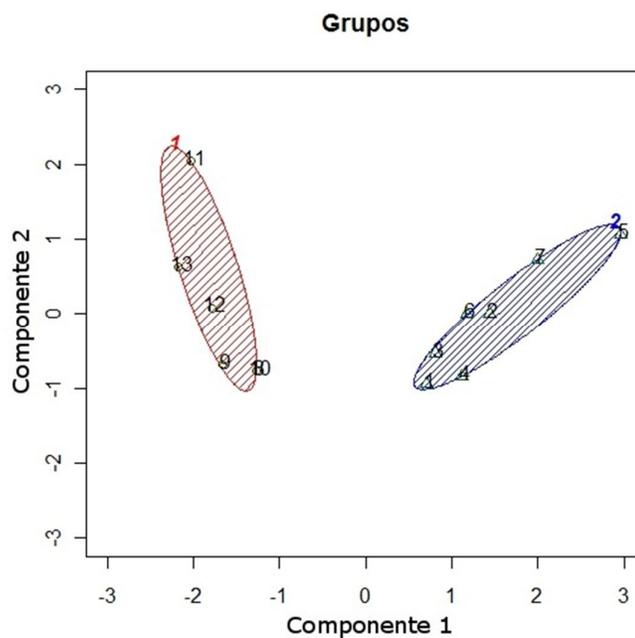


Figura 22. Agrupamento não hierárquico dos condrocânios de *R. porosus* da costa setentrional (RN) do Brasil (em azul - juvenil; vermelho – adulto).

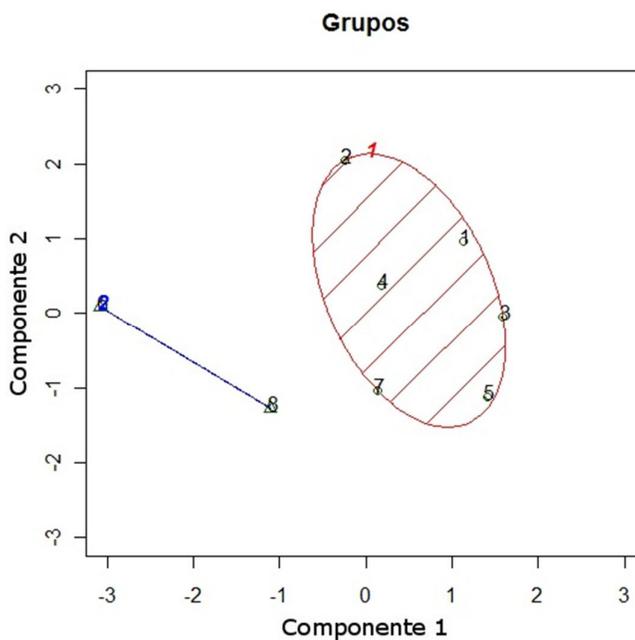


Figura 23. Agrupamento não hierárquico dos condrocânios de *R. porosus* da costa oriental (Fêmeas- 4,5,7 e 8 ; Machos – 1,2,3 e 6).

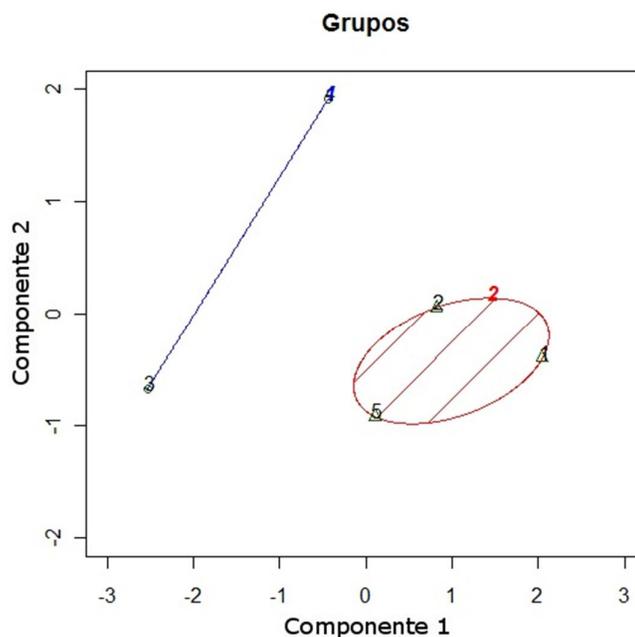


Figura 24. Agrupamento não hierárquico dos condrocânios de *R. porosus* da costa setentrional (Fêmeas- 1,4 e 5; Machos- 2 e 3).

5. DISCUSSÃO

O presente estudo revela evidências significativas de heterogeneidade entre os condrocânios de *R. porosus* de Pernambuco e Rio Grande do Norte. Estas evidências se devem ao fato que os condrocânios de PE na fase juvenil apresentaram distâncias entre as fenestras rostral e baserostral, fenestral rostral e a cartilagem rostral direita e esquerda e a distância entre fossa parietal e a fontanela anterior maiores que os de RN, já na fase adulta acontece o contrário, dando indícios que corroboram com a hipótese apresentada por LESSA (2003) de duas populações de *R. porosus* entre essas regiões estudadas.

Na análise de componentes principais verificou-se que a primeira componente se relaciona com a parte frontal do condrocânio e a distância entre a fossa parietal (PRF) e a fontanela anterior (AF), sugerindo que os condrocânios de *R. porosus* do Rio Grande do Norte na fase juvenil tenham um focinho menor e mais estreito

daqueles de Pernambuco, enquanto que a distância entre PRF e AF seja maior para os condrocrânios de Pernambuco.

Nas análises de agrupamento verificou-se claramente uma separação de duas populações de condrocrânio tanto para a fase adulta quanto para juvenil, um grupo formado pelos condrocrânios de *R. porosus* de Pernambuco e outro do Rio Grande do Norte. Também foi observada a separação de dois grupos quando comparado os condrocrânios adultos e juvenil de uma mesma área de estudo, dando indícios que a estrutura do condrocrânio se altera com o sua alometria. Não foram encontradas diferenças de grupos quando comparados os condrocrânios em relação ao sexo independente da região. Segundo ROHLF (1970) o coeficiente de correlação cofenética maior que 0,7 indica a adequação do método de agrupamento, sendo assim não há evidências contra inadequação dos métodos de agrupamentos para ambas as fases etárias.

A separação de duas populações de condrocrânios também pode ser vista na utilização do método de k-means, onde detectou 100,0% de distinção entre os condrocrânios de *R. porosus* de Pernambuco e Rio Grande do Norte em ambas as fases etárias, quando comparados os condrocrânios adultos e juvenil de uma mesma área de coleta o método de k-means também foi capaz de distinguir com 100,0% de certeza os condrocrânios de adultos dos juvenis. Em relação aos sexos nota-se que não existe diferença entre os condrocrânios juvenil de *R. porosus* da costa oriental e da setentrional, a taxa de acerto foi de 50,0% para a costa oriental, enquanto que para a costa setentrional a taxa de acerto foi de 60,0%.

Com a análise de discriminante obteve-se uma taxa de acerto de 100,0% dos condrocrânios de *R. porosus* na fase juvenil e adulta em ambas as localidades, verificou-se também uma taxa de acerto de 100,0% quando os condrocrânios adultos e juvenis foram comparados numa mesma área de coleta. Em relação aos sexos a taxa de acerto foi de 50,0% dos condrocrânios juvenil da costa oriental, com uma taxa de acerto de 50,0% para os machos e fêmeas. Para a costa setentrional a taxa de acerto foi de 40,0%, com uma taxa de acerto de 50,0% para os machos e de 33,0% para as fêmeas.

Todos os resultados evidenciam diferenças morfométricas no condrocrânio de *R. porosus* de Pernambuco e do Rio Grande do Norte, corroborando com a hipótese de que essas poderiam corresponder a dois supostos estoques resultado da divergência de correntes na área que atuaria com consequências sobre o fenótipo

na região de estudo. Esses resultados estão também em conformidade com os de LESSA et al. (2011) que verificaram diferentes padrões de crescimento de *R. porosus* entre as duas áreas analisadas.

A esse propósito DUARTE-NETO et al. (2008) usando otólitos de *C. hippurus* para verificar a mesma hipótese (Lessa, 2003) diz que idênticas diferenças não fornecem uma base genética para a separação, podendo refletir as características fenotípicas de cada região, o que sugere histórias de vida distintas estando as diferenças provavelmente relacionadas com o recrutamento independente ou com fatores que não a seletividade das artes.

Reforçando tal interpretação, resultados sugerindo estruturação de populações nessa área para *R. porosus* foram também apresentados por MENDONÇA et al. (2011) em seu estudo sobre variação na sequência de DNA de *R. porosus*, demonstrando diferenças no DNA de exemplares da espécie entre a costa oriental e setentrional do Brasil.

Resumindo, os resultados obtidos permitem considerar que a estrutura utilizada apresenta atributos morfológicos adequados para a determinação de unidades populacional sendo sua utilização pioneira, no presente estudo, crucial para a gestão desse recurso pesqueiro na costa do Nordeste do Brasil.

6. CONCLUSÃO

Verificaram-se diferenças entre os condrocânios de Pernambuco e do Rio Grande do Norte nas distâncias entre as fenestras rostral e baserostral, a fenestra rostral e as cartilagens laterais direita e esquerda e a distância entre a fossa parietal e fontanela anterior dos condrocânios de *R. porosus*. *Essas distâncias são maiores* na fase juvenil em Pernambuco, enquanto que as maiores distâncias na fase adulta correspondem aos exemplares do Rio Grande do Norte.

As médias das distâncias entre as fenestras rostral e baserostral, a fenestra rostral e as cartilagem rostral direita e esquerda e a distância entre a fossa parietal e a fontanela anterior fornecem indicações sobre de que região um exemplar de *R. porosus* provém.

Houve diferenças na estrutura dos condrocrânios de *R. porosus* quando comparados adultos e juvenis de uma mesma região de captura. Não foi encontrada diferenças do condrocrânio em relação aos sexos.

Verificou-se existência de relação linear entre o comprimento do condrocrânio e o comprimento total do *R. porosus*, indicando que o tamanho da estrutura aumenta com o tamanho individual..

Os resultados obtidos sugerem estruturação das populações dessa espécie na área de estudo corroborando hipóteses anteriores sobre a influência da divergência que origina a corrente do Brasil e a corrente norte do Brasil. Tal fenômeno oceanográfico teria consequência sobre o fenótipo explicando diferenças da espécie analisada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERBERG, M.R. Cluster analysis for applications. New York: Academic Press, 1973.

BARCELLOS, B.N. Ictiofauna marinha do Rio Grande do Sul. Fasc II. Bol. Inst. Cienc. Nat., P. Alegre. v.18, p. 1-40, 1963.

BONFIL, R. Overview of World elasmobranch fisheries. **FAO Fisheries Technical Paper**, n. 341, p. 119, 1994.

BOOKSTEIN, F.L. **Morphometric Tools for Landmark Data**: geometry and biology, Cambridge University Press: New York, 1991.

BOOKSTEIN, F.L. **Size and Shape: a comment on semantics**. Syst. Zool., v.38, p.173-180, 1989a.

BUSSAB, W.O.; MIAZAKI, E.S. ANDRADE, D.F. **Introdução à análise de agrupamento**. São Paulo: Associação Brasileira de Estatística, 1990.

CASTRO, J.I. The Position of Sharks in Marine Biological Communities An Overview. in: COOK, S. (edit.). Sharks. An Inquiry into Biology, Behavior, Fisheries and Use. **Proc. of a conf. Portland. Oregon**, State University Extension Service, p. 11-17, 1987.

CERVIGÓN, F. Los pecesmarinos de Venezuela. **Tiburones y Rayas. Fundación Museodel Mar**, v. 5, 1999.

COMPAGNO, L.J.V. Checklist of living chondrichthyes. in: Hamlett W.C. (ed) Redproductive biology and phylogeny of chondrichthyes: sharks, batoids, and chimaeras. Science Publishers, Inc, Enfield, New Hampshire, USA, p. 501-548, 2005.

COMPAGNO, L.J.V. (1988) Sharks of the order Carcharhiniforms. Princeton University.

COMPAGNO, L.J.V. (1984) FAO species catalogue, Vol 4: Shaks of the world. Part2; Carcharhiniforms. FAO fish. Synopsis.

CUNHA, M.D.; GOMES U.L. Estudo comparativo da morfologia dos órgãos copuladores de *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) e *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) (Elasmobranchii – Carcharhinidae). **Rev. Bras. Biol.**, v. 54, n. 4, p. 575-586, 1994.

DUARTE, P.N.; LESSA, R. P.; STOSIC, B.; MORIZE, E. The use of sagittal otoliths in discriminating stocks of common dolphinfish (*Coryphaena hippurus*) off northeastern Brazil using multishape descriptors. **ICES Journal of Marine Science**, v. 65, p. 1144 – 1152, 2008.

FERREIRA, B.P. Ciclo reprodutivo de *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) e *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) na região de Barra de Guaratiba RJ. **An. Acad. Bras.Cienc.**, v. 60, n. 1, p. 91-101, 1988.

FARRIS, J.S. On the cophenetic correlation coefficient. **Systematic Biology**, v. 18,p. 279-285, 1969.

FISHER, R.A. The use of multiple measurements in taxonomic problems. **Annals of Eugenics**, v. 7, n. 2, p. 179-188, 1936.

FONTELES-FILHO, A.A. Recursos pesqueiros: biologia e dinâmica populacional. Imprensa Oficial do Ceará, XVI +, p. 296, Fortaleza, 1989.

GADIG, O.B.F. **Tubarões da costa brasileira**. Rio Claro, 2001. Tese de Doutorado em Zoologia, Universidade Estadual Paulista.

GARCIA, A.C.M. Morfometria de *Rhizoprionodon porosus* e *R. terraenovae* (Chondrichthyes, Carcharhinidae) Utilizando técnicas de análise multivariada para Determinação do Status Específico. 2008. Dissertação (Mestrado em Biometria) – Universidade Federal Rural de Pernambuco.

GOMES, U.L. ;TOMAS, A.R.G. Pleurotrematas do litoral brasileiro. **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 57 n. 3 , p. 383, 1985.

GOMES, U.L.; REIS, M.A.F. Considerações sobre a dentição de *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) e *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) (Elasmobranchii – Carcharhinidae). Parte I: Morfologia, padrão dentário e heterodontia. **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 63, n. 3, p. 285-294, 1991a.

GOMES, U.L.; REIS, M.A.F. Considerações sobre a dentição de *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) e *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) (Elasmobranchii – Carcharhinidae). Parte II: Arranjos das séries, grupos dentários e fórmula dentária. **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 63, n. 3, p. 295-300, 1991b.

GOMES, U.L.; REIS, M.A.F. A heterodontia ginandrica em *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) (Elasmobranchii – Carcharhinidae). **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 59, n. 4, p.443-444, 1987.

GOMES, U.L.; FICHER, N.S. Estudo comparativo da coluna vertebral de *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) e *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) (Elasmobranchii – Carcharhinidae). Parte I: Morfologia, padrão dentário e heterodontia. **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 65, n. 3, p. 303-321, 1993.

GOMES, U.L.; SIQUEIRA, A.E. Estudo comparativo do condroneurocrânio de *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) e *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861). **Rev. Brasil. Biol.**, v. 55, n. 1, p. 49-60, 1995.

HAIR, J.F.; TATHAM,R.L.; ANDERSON,R.E.; BLACK,W. **Multivariate Data Analysis**. 5.ed. New Jersey, Prentice-Hall, 2005.

HARTIGAN, J.A.; WONG, M.A. Algorithm, as136: A k-means Clustering algorithm. **Applied statistics**, England, v.28, p. 100-108, 1979.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. Applied multivariate statistical analysis. 4thed. New Jersey: Prentice Hall, 1992.

KENDALL, D.G. A Survey of the Statistical Theory of Shape. **Statistical Science**, v.4, n.2, p. 87-120, 1989.

KENDALL, D.G. Shape manifolds, procrustean metrics, and complex projective spaces. **Bull. Lond. Math. Soc.**, v.16, p.81-121, 1984.

LESSA, R.P.; MONTEALEGRE- QUIJANO, S.; BARRETO, R.; FERRAZ, C.; ALMEIDA, Z. ; SANTANA, F.M. Variações nos parâmetros de crescimento de *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) ao longo da costa Norte-Nordeste do Brasil: diferentes populações? Encontro da Sociedade Brasileira para o Estudo de Elasmobrânquios. v. 7, p. 56, 2011.

LESSA, R.P.; Dinâmica das frotas pesqueiras do Nordeste. Relatório REVIZEE/SCORE-NE 1, p. 108, 2003.

LESSA, R. P.; SANTANA, F.M.; RINCÓN, G.; GADIG, O.B.F.; EL-DEIR, A.C. **Biodiversidade de elasmobrânquios do Brasil**. Recife, PRONABIO, p. 125, 1999.

LESSA, R.P. Premières observations sur la biologie productive de *Rhizoprionodon lalandii* (Valenciennes, 1839) (Pisces, Carcharhinidae) de l'acôténord Du Brésil – Maranhão. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 48, n. 4, p. 721-730, 1988.

MARDIA, K.V.; KENT, J.T.; BIBBY, J.M. Multivariate analysis, London, Academic Press, 1979.

MATTOS, S.M.G., BROADHURST, M.K.; HAZIN, F.H.V.; JONES, D.M. Reproductive biology of the Caribbean sharpnose shark, *Rhizoprionodon porosus*, from northern Brazil. **Mar. Freshwater Res.**, v. 52, n. 5, p. 745-752, 2001.

MATTOS, S.M.G. Aspectos da biologia e dinâmica populacional de *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) na plataforma continental do Estado de Pernambuco. Recife, 1998. Dissertação de Mestrado em Oceanografia Biológica, Universidade Federal de Pernambuco.

MENDONÇA, F.F.; OLIVEIRA, C.; OTTO, B.F.; FORESTI, F. Phylogeography and genetic population structure of Caribbean sharpnose shark *Rhizoprionodon porosus*. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, v. 21, p. 799 – 814; 2011.

METROPOLIS, N.E.A. Equations of state calculations by fast computing machines. **Journal of Chemical Physics**, v. 6, n. 21, p. 1087-1092, 1953.

MONTEALEGRE- QUIJANO, S. Idade, crescimento e análise demográfica do cação *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) na plataforma continental do estado de Pernambuco, Brasil. Recife, 2002. Dissertação de Mestrado em Biologia Animal, Universidade Federal de Pernambuco.

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

NELSON, J.S. **Fishes of the world**. John Wiley and Sons, Inc. New York. 4th edition. 2006.

REIS, M.A.; GOMES, U.L. Considerações sobre a dentição de *Rhizoprionodon alandii* (Valenciennes, 1839) e *Rhizoprionodon porosus* (Poey, 1861) (Elasmobranchii – Carcharhinidae). Parte III: Histologia dentária. Parte final. **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 63, n. 3, p. 301-306, 1991.

REIS, S.F.; CUNHA, R.A.; GARAVELLO, J.C.; ABE, A.S. Discriminação pela forma em relação ao tamanho: um exemplo com peixes do gênero *Leporinus*. *Ciência e Cultura*. V. 39, p. 757-761, 1987.

ROHLF, F.J. & MARCUS, L.F. A revolution in morphometrics. **Trends in Ecology and Evolution**, v.8, n.4, p. 129-132, 1993.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, p. 33-40, 1962.

SPRINGER, V.G. A revision of the carcharinid shark genera *Scoliodon*, *Loxodon* and *Rhizoprionodon*. **Proc. U.S. Natn. Mus.**, v.115, p. 559-632, 1964.

STONE, R.B.; BAILEY, M.C.; McLAUGHLIN, S.A.; MACE, P.M.; SCHULZE, M.B. Federal management of US Atlantic shark Fisheries. **Fisheries Research**, v. 39, p. 215-221, 1998.

STOSIC, B.D. Pairwise clustering using a Monte Carlo Markov Chain. **Physica A**, n. 338, p. 2373-2382, 2009.

TOU, J.T.; GONZALEZ, R.C. **Pattern Recognition Principles**, Massachusetes: Addison-Wesley, 1974.

WALKER, T.I. Can shark resourses be harvested sustainably? A question revisited with a review of shark fisheries. *Mar. Freshwater. Res.*, v. 49, p. 553-572, 1998.