

Análise do tamanho dos crânios dos Cães de van Giffen

Um estudo estatístico de associação entre as medidas dos crânios e as épocas de civilizações em atividade no norte da Holanda.

Nicole Fredericci do Amaral - ra 204355

2025-11-22

Resumo

Este estudo tem como objetivo a análise dos dados do arqueólogo Profº Albert Egges van Giffen, coletados e documentados no início do século XX. A pergunta central consistiu na tentativa de associação entre as mudanças morfológicas de 488 crânios de cães encontrados no norte da Holanda, e o período em que esses locais possuíam civilizações em atividade. E, com isso, analisar a relação entre os dados métricos e a domesticação dos animais; alguns crânios de lobos também constam em meio aos dados.

Para isso, foram usadas técnicas de Análise Multivariada (Clusterização, Análise de Componentes Principais e Análise Fatorial) e o método ANOVA para análise de variância. A Clusterização permitiu o agrupamento de cães com medidas distintas de crânios: um grupo de cães com crânios maiores, e o outro com crânios menores. Apesar do sucesso no agrupamento, não foi possível afirmar, sem mais informações, se o grupo com crânios maiores correspondia a lobos e cães selvagens, e se o grupo com crânios menores correspondia a cães domesticados (mais recentes).

Em segunda instância, a Análise Fatorial em conjunto com a Análise de Componentes Principais permitiu a redução da dimensionalidade dos dados, fazendo com que uma parte expressiva da sua variabilidade fosse explicada por apenas dois fatores; as medidas D-Q' e S-Q'.

Ainda, a ANOVA foi utilizada para testar se a média dos crânios nos diferentes períodos era significativa a nível $\alpha = 0,05$, considerando os dados no novo espaço de dimensão reduzida. A partir dos resultados, foi possível confirmar que o período não impacta no tamanho dos crânios de forma evidente, provavelmente pelo fato de a informação estar relacionada aos locais, e não diretamente aos ossos.

Introdução

As seguintes análises foram feitas com base nos dados do arqueólogo Profº Albert Egges van Giffen, coletados e documentados no início do século XX. Os 488 crânios encontrados no norte da Holanda correspondem à cães que viveram entre o início da Idade do Ferro (800 a.C.) e a Era Moderna (1950 d.C.), sem confirmação se eram domesticados ou selvagens; alguns crânios de lobos também constam em meio aos dados. Por fim, as informações coletadas abrangem dados métricos a respeito dos crânios, bem como índices de identificação, nomes e coordenadas dos locais nos quais foram encontrados, entre outras noções.

O objetivo deste estudo é avaliar mudanças morfológicas no crânio dos animais ao longo dos anos, considerando também a associação dessas alterações com a domesticação dos cães. Para cumprir o propósito, foram empregadas técnicas de Análise Multivariada, que serão exibidas em seções seguintes. Em adendo, serão discutidas as limitações causadas pelos dados coletados e as decisões para lidar com as mesmas.

Metodologia

Nesta seção, serão discutidas as técnicas estatísticas, em sua maioria de Análise Multivariada, empregadas para responder à pergunta central do estudo.

Manipulação do conjunto de dados

Em primeira instância, as variáveis presentes no conjunto de dados foram analisadas quanto a sua relevância para responder ao objetivo do estudo. Assim, as colunas `Van Giffen ID_2`, `BAI_ID`, `RMO_ID`, `Other_ID` e `Van Giffen ID_2` foram removidas; para questões de identificação, apenas `ID` foi mantida. `Start Range` e `End Range` foram removidas porque as legendas sobre o intervalo das épocas foram disponibilizados em um documento separado, não havendo necessidade de mantê-las no conjunto.

Com relação às localizações, a coluna `Alternate spelling` foi removida porque `Site location` não possuia dados faltantes e, portanto, fornecia informações suficientes sobre os locais. `Object location` também foi excluída pois não acrescentava dados para responder ao objetivo do estudo. O mesmo foi determinado para as colunas `Comments` e `Year collected`. Ainda, as informações referentes à latitude e longitude também foram retiradas (colunas `Latitude` e `Longitude`), uma vez que não complementavam de maneira expressiva as informações de `Site location`.

Para mais informações sobre as medidas dos crânios, foi acessado o repositório oficial do estudo (Scheele (2017)). A partir da análise dos documentos, não foram encontradas descrições claras sobre o significado das variáveis `Plis sourc`, `Erster Hypoc`, `SS stud` e `PM4`, resultando na exclusão das mesmas. A coluna `ba`, que corresponde ao comprimento da extremidade anterior da sutura mandibular até o processo condilar, também foi retirada do conjunto por apresentar muitos dados faltantes; as outras medidas presentes foram consideradas suficientes. Por fim, `A-A (S')` também foi excluída da análise, pois não foram encontrados registros que explicassem a que se referiam os números entre parênteses e qual seria a medida correta a ser considerada.

Em seguida, foi levado em conta o tratamento de dados faltantes. Uma vez que o período histórico ao qual os ossos pertenciam eram relevantes para responder à pergunta central, foi considerada a remoção das observações que não possuíam nenhuma informação sobre o fator época. Entretanto, isso resultaria na perda de 179 dados; logo, foi decidido substituir os dados faltantes pela moda das respectivas colunas. Assim, restavam observações faltantes apenas nos dados referentes às medidas dos crânios.

Foram feitas duas tentativas de análise: com e sem imputação de dados; a última trouxe resultados melhores e, portanto, está descrita neste estudo, enquanto a primeira pode ser consultada no repositório em que os códigos foram divulgados. Após desconsiderar todos os dados faltantes, o conjunto obtido continha 134 observações. A quantidade de dados foi reduzida de forma visível, escolha que impactou nos resultados, apesar de ainda assim ter sido preferida à imputação de dados após a comparação de resultados.

Por fim, foram tomadas decisões acerca do agrupamento dos períodos. Épocas menores foram englobadas nas maiores, sendo consideradas apenas Idade do Ferro, Idade Romana, Período Medieval e Era Moderna. Esses agrupamentos foram realizados nas colunas `Start Period` e `End Period`, e cada grupo ficou com as quantidades de observações exibidas na Tabela 1.

Table 1: Quantidade de observações por período em cada variável.

Start Period	Quantidade	End Period	Quantidade
Idade do Ferro	371	Idade Romana	1
Idade Romana	39	Período Medieval	396
Período Medieval	78	Era Moderna	91

Pelo fato da variável `Start Period` apresentar grupos com quantidades de observações mais equilibradas que `End Period`, esta também foi removida da análise. Logo, `Start Period` foi usada como referência temporal para responder ao objetivo.

Clusterização com PAM

A clusterização é uma técnica de análise de agrupamento que visa identificar grupos de indivíduos com características semelhantes, e pode ser utilizada com algoritmos iterativos distintos. Escolheu-se o algoritmo PAM (Particionamento em Torno de Medoides), que usa uma técnica de clusterização particional, selecionando amostras distintas como os primeiros (e melhores) representantes de cada cluster. Essas amostras são chamadas de medoides, e correspondem ao centro de cada grupo.

A partir da primeira divisão de indivíduos, as seguintes ocorrem baseadas em distância — a euclidiana é a usada por padrão, inclusive neste estudo, mas o algoritmo também suporta outras métricas. Essas separações têm como objetivo minimizar a variação dentro de cada cluster, e o algoritmo PAM tem a vantagem de ser robusto a observações discrepantes (outliers). Isso evita que um erro de medição distorça o centro do cluster e, consequentemente, classifique de maneira equivocada as próximas observações.

Para mais detalhes sobre outros algoritmos usados em clusterizações, como o K-means e o Hierárquico, ver Everitt et al. (2011).

Análise de Componentes Principais (PCA)

O objetivo da PCA é identificar as dimensões de maior variabilidade nos dados, e geralmente é utilizada para tomar decisões acerca da quantidade de componentes a ser incluída na Análise Fatorial.

Primeiramente, são calculados os Componentes Principais para descobrir quais variáveis mais contribuem para cada componente, que correspondem às novas dimensões dos dados. Esses componentes são não correlacionados entre si, e seus escores representam as novas coordenadas dos crânios nesse espaço de dimensão reduzida. Portanto, os escores são utilizados para analisar a separação ou agrupamento dos crânios a partir das principais variáveis que os diferenciam.

Para a seleção de componentes relevantes para a análise, foi utilizado o Scree Plot (ou Gráfico do Cotovelo) em conjunto com o Critério de Kaiser, abordados em Hair et al. (2010). Em particular, o Critério de Kaiser sugere a seleção de um componente apenas se ele explicar uma maior parte da variabilidade dos dados do que uma única variável faria sozinha. Essa retenção é feita para todos os componentes de autovalor maior que 1, uma vez que os autovalores representam a quantidade da variabilidade total que cada componente principal explica.

Análise Fatorial

A análise factorial tem como objetivo identificar dimensões latentes subjacentes às medidas dos crânios dos animais. Este procedimento permite reduzir a complexidade dos dados, sintetizando múltiplas variáveis correlacionadas em fatores que representam padrões de comportamento mais gerais. Uma discussão mais aprofundada sobre o método também encontra-se em Hair et al. (2010). Após a extração dos fatores, são calculados os escores fatoriais para cada observação, que representam a posição relativa de cada crânio em relação aos fatores identificados.

Para realizar a Análise Fatorial, foram utilizadas funções do pacote **psych**. Essas funções e seus argumentos serão detalhados a seguir por envolverem certo grau de arbitrariedade em suas configurações, portanto as escolhas feitas serão justificadas. A função **psych::fa** foi utilizada para a realização da análise, e o argumento de entrada corresponde às medidas dos crânios dos animais. O segundo argumento corresponde a quantos componentes devem ser extraídos na análise.

A primeira escolha de fato foi feita com relação ao tipo de rotação: a rotação oblíqua, indicada no argumento pelo valor **promax**, permite com que os fatores extraídos sejam correlacionados entre si. Essa decisão foi tomada na tentativa de adaptar as dimensões subjacentes à realidade dos dados, uma vez que, sendo medidas do mesmo crânio, as variáveis naturalmente apresentam certo grau de correlação. Isso não é considerado na PCA, que trata as dimensões como se fossem estritamente ortogonais.

A segunda escolha foi feita com relação ao método de fatoração: a Máxima Verossimilhança é um método de estimativa que tenta encontrar parâmetros que maximizem a probabilidade de observar os dados, assumindo que as variáveis seguem uma distribuição normal multivariada. No contexto do estudo e da disciplina, foi considerado o método mais apropriado. Por fim, os escores fatoriais foram calculados a partir de um método de regressão para auxiliar na inserção da análise do período em conjunto com as mudanças morfológicas nos crânios.

Análise de Variância (ANOVA)

Para testar o impacto da mudança de período nas dimensões morfológicas latentes, encontradas pelos métodos descritos anteriormente, foi empregada a Análise de Variância (ANOVA). Essa técnica permite determinar se as médias de grupos distintos diferem a um nível de significância arbitrário, aqui adotado $\alpha = 0,05$.

Essa distinção se dá a partir da decomposição da variância total dos dados em dois componentes: a variância entre grupos e a variância dentro dos grupos; a primeira é atribuída ao efeito dos fatores do modelo, e a segunda, ao erro aleatório. Enfim, a significância é avaliada por meio da Estatística F, que compara a magnitude da primeira variância com o erro inerente ao sistema. Um p-valor inferior a α fornece evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula determinada em favor da hipótese alternativa.

Resultados

Na seguinte seção, serão exibidos e discutidos os resultados encontrados após a aplicação da metodologia descrita.

Análise Exploratória

Inicialmente, para analisar as mudanças nas medidas dos crânio ao longo dos períodos, calculou-se a média de cada medida em cada período. Essas diferenças podem ser conferidas na Tabela 2 de forma numérica, e na Figura 1, de forma visual. Na Tabela 2, é possível notar pequenas variações nas médias das medidas entre as épocas, o que é confirmado na Figura 1. Entretanto, é importante ressaltar que a escala dessas alterações é pequena; ainda assim, as medidas diminuem com o passar dos anos, exceto D-mu.

Table 2: Médias das medidas de acordo com o período.

Medida	Idade do Ferro	Idade Romana	Período Medieval
C-C'	64.29	65.96	62.56
C-D	37.45	38.17	34.06
A-C	107.88	107.59	108.04
A-D	197.23	198.43	192.25
D-mu	95.52	95.98	96.70
I-J	39.59	37.93	37.94
I-L	53.52	53.54	52.19
H-H'	108.77	111.52	104.91
F-F'	57.67	57.44	56.89
F-G	73.74	80.38	75.81
D-Q	56.76	58.13	54.96
O-S	175.41	177.28	168.77
DW	99.97	101.36	98.07
DM-W	67.32	68.30	65.20
DN-W	20.52	20.65	20.55
T-T'	64.85	66.07	62.27
E-E'	66.52	67.37	64.23

Medida	Idade do Ferro	Idade Romana	Período Medieval
Eps-Eps'	67.61	69.73	65.72
C-S	106.88	107.51	102.23
B-S	56.45	56.11	54.09

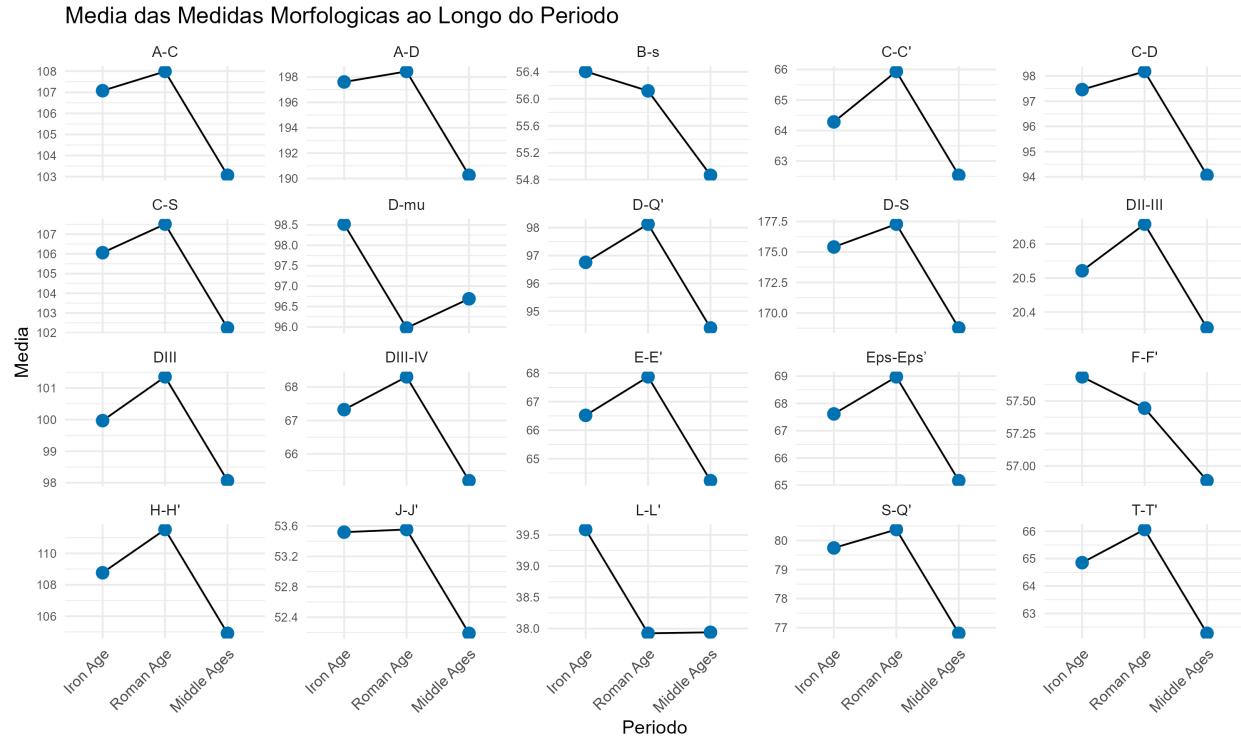


Figure 1: Médias das medidas de acordo com o período.

Na tentativa de obter uma relação mais expressiva entre as mudanças morfológicas dos crânios e os períodos, foi feito um agrupamento por local (coluna `Site location`). A ideia era procurar algum padrão em alguma das civilizações que pudesse solidificar a relação entre domesticação e tamanho de crânio. Entretanto, a tentativa não acrescentou resultados à análise e foi descartada, podendo ser verificada nos códigos presentes no repositório.

Clusterização

Com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados, foi feita uma clusterização com o algoritmo PAM (Particionamento em Torno de Medoides). Primeiro, para escolher a quantidade de clusters ideal para a análise, foi usado o Método da Silhueta; quanto maior a média da largura da silhueta, mais bem ajustados aos dados estão as divisões dos clusters. Como é possível ver na Figura 2, o número de clusters que maximiza a média da largura é $K = 2$ e, portanto, a análise foi continuada com tentativa de separação dos crânios em dois grupos de acordo com suas medidas.

Para verificar a qualidade da separação das observações, as silhuetas dos clusters foram separadas e analisadas de forma individual na Figura 3. Ao total, 94 observações foram alocadas para o cluster 2, e 40 para o cluster 1. A média das silhuetas no primeiro cluster é equivalente a 0,46, e no segundo, 0,53 — ou seja, em um índice que varia entre -1 e 1, isso significa que a separação feita pode ser considerada razoável. A linha tracejada vermelha presente no gráfico representa a média simples das médias das silhuetas, equivalente a 0,51.

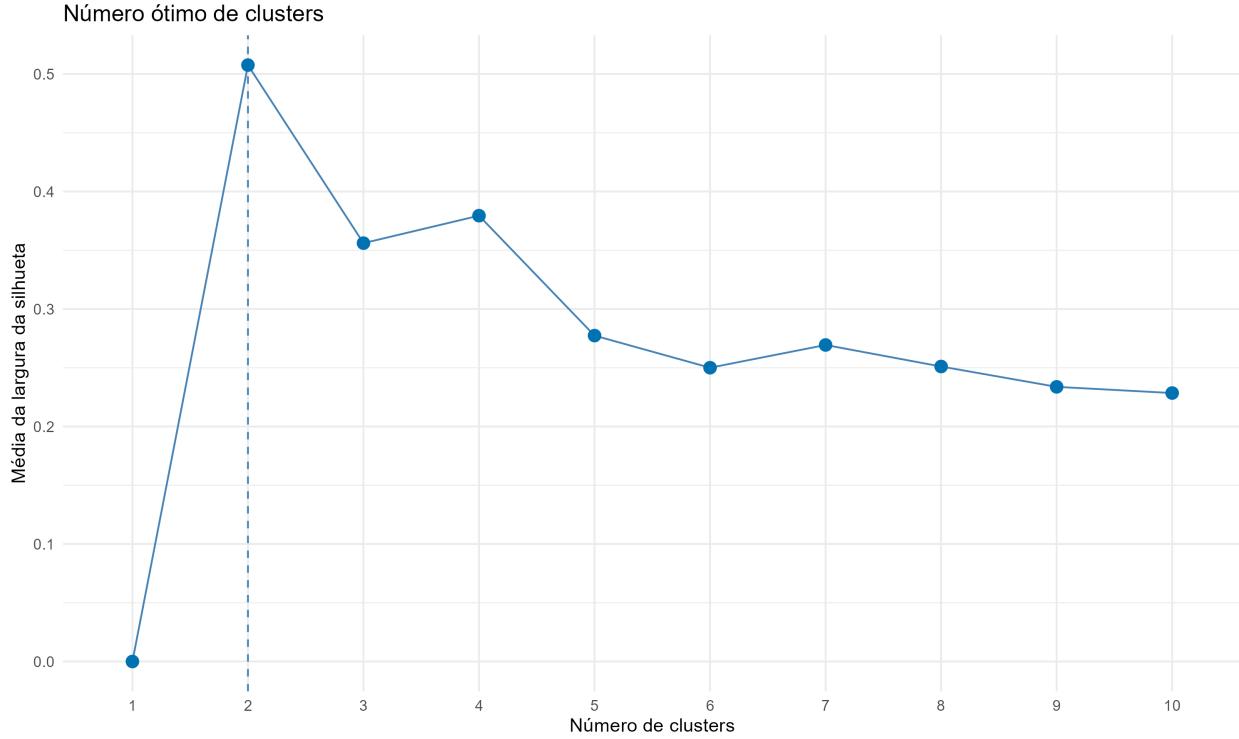


Figure 2: Média da largura da silhueta de acordo com o número de clusters.

Apesar da separação clara, não foi possível afirmar, sem mais informações, se o grupo com crânios maiores correspondia a lobos e cães selvagens, e se o grupo com crânios menores correspondia a cães domesticados (mais recentes).

Em adendo, o gráfico da Figura 4 permitiu a visualização da região de classificação de cada cluster, ficando evidente que há, de fato, grupos diferentes caracterizados por diferentes tamanhos de crânio. Por fim, para caracterizar cada grupo com relação às medidas, calculou-se as médias das medidas entre os indivíduos de cada cluster. A comparação entre as medidas médias dos grupos pode ser analisada na Figura 4, na qual fica evidente que o cluster 2 corresponde a cães de crânios maiores, e o cluster 1, a cães de crânios menores. Em complemento à figura, a Tabela 3 traz as médias das medidas de acordo com o cluster ao qual os indivíduos pertencem. Agora, em comparação à Tabela 2, a diferença entre as médias das medidas se torna mais clara e expressiva em escala por conta da clusterização e da ausência de separação por período.

Table 3: Médias das medidas de acordo com o cluster.

Medida	Cluster 1	Cluster 2
C-C'	51.60000	70.89574
C-D	77.0750	105.1117
A-C	88.4875	114.0053
A-D	158.8250	211.5559
D-mu	80.7925	105.4096
L-L'	31.20000	42.45377
J-J'	43.52250	57.84093
H-H'	89.9250	114.9628
F-F'	53.37500	58.92447
S-Q'	63.6500	87.06383
D-Q'	77.4750	101.9309

Medida	Cluster 1	Cluster 2
D-S	149.9125	188.2021
DIII-IV	82.3700	105.5904
DII-III	56.16250	71.92021
T-T'	17.67000	21.60851
E-E'	50.92500	68.55351
Eps-Eps'	54.6875	69.8085
C-S	55.25000	71.31383
B-S	47.66250	59.53191

Análise de Componentes Principais (PCA)

A PCA foi utilizada de maneira prévia à Análise Fatorial para decidir a quantidade de fatores que seria incluídos na próxima etapa. Na Tabela 4, é possível ver que o primeiro componente principal explica 88,16% da variabilidade dos dados, e o segundo, 3,14%, totalizando 91,3% de variabilidade explicada em apenas dois componentes.

Como descrito na seção da metodologia, foi utilizado o Critério de Kaiser (corroborado pelo Scree Plot, disponível nos códigos presentes no repositório) para a retenção de componentes na análise. Também é possível ver na Tabela 4 que somente uma dimensão apresentou autovalor maior que 1, o que indica que quase toda a diferença entre os crânios pode ser resumida em apenas um componente.

Table 4: Autovalores e as porcentagens explicadas da variância para as 10 primeiras dimensões.

Dimensão	Autovalor	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)
Dim. 1	17.63190	88.16	88.16
Dim. 2	0.62816	3.14	91.30
Dim. 3	0.36748	1.84	93.14
Dim. 4	0.28108	1.41	94.54
Dim. 5	0.22527	1.13	95.67
Dim. 6	0.17937	0.90	96.57
Dim. 7	0.13702	0.69	97.25
Dim. 8	0.11669	0.58	97.83
Dim. 9	0.10466	0.52	98.36
Dim. 10	0.08397	0.42	98.78

Entretanto, como os dois primeiros componentes em conjunto contribuiam para uma parte expressiva da explicação da variabilidade, e os demais componentes acrescentavam à porcentagem da explicação de forma menos significativa — para passar de 95%, um avanço considerável a partir de 91,3%, seriam necessários mais três componentes —, as duas primeiras dimensões foram julgadas suficientes para serem incluídas na Análise Fatorial.

Análise Fatorial

Como descrito na metodologia, a função `psych::fa` produziu os resultados que geram a Figura 6, a qual mostra visualmente quais medidas contribuem mais para cada uma dessas duas dimensões. Os pontos representam as medidas dos crânios, e suas coordenadas, as cargas fatoriais relacionadas às medidas; elas indicam o peso de cada variável em relação aos fatores latentes extraídos. É possível observar que a maioria dos pontos estão concentrados no quadrante superior direito, o que significa que essas variáveis possuem

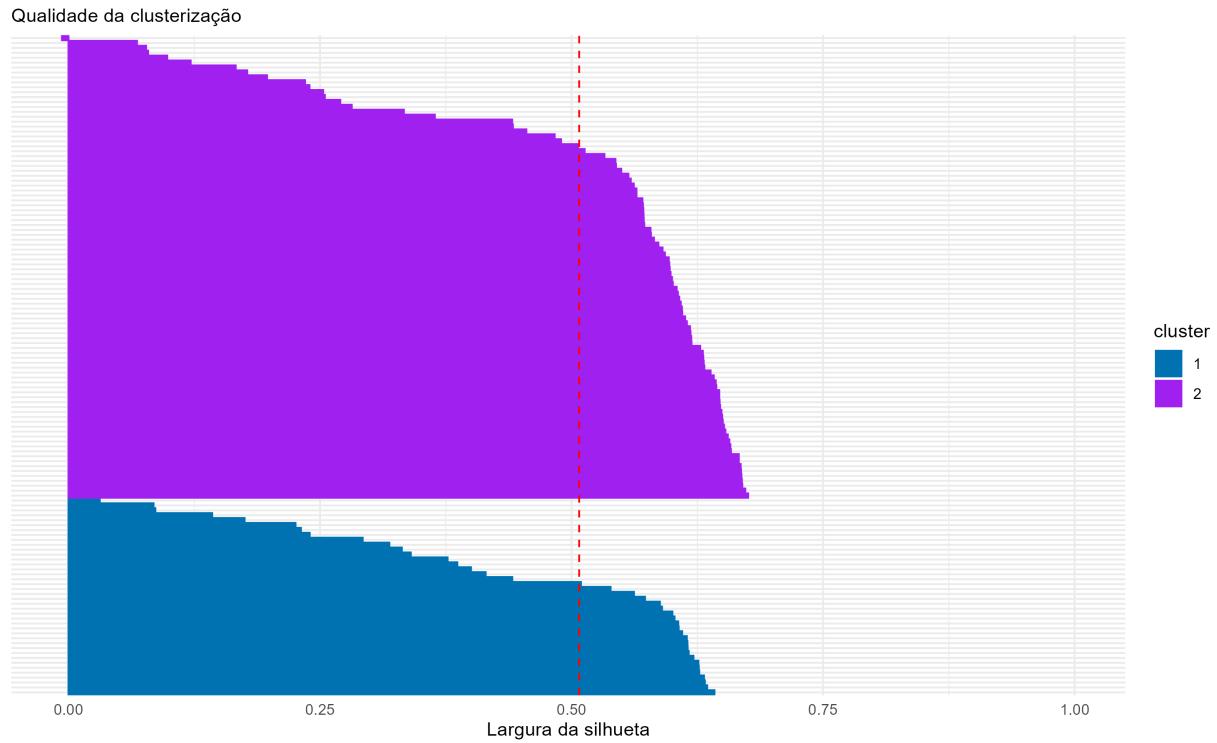


Figure 3: Comparação entre os ajustes dos clusters.

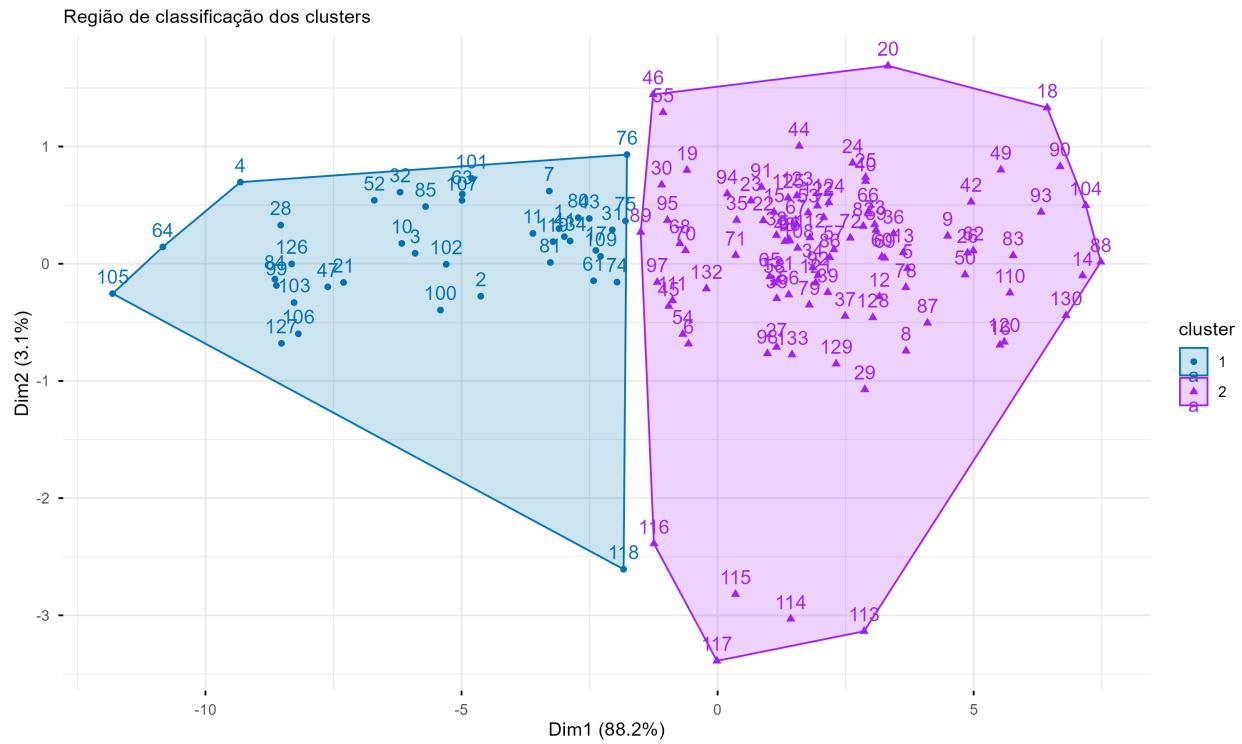


Figure 4: Separação das observações nos clusters e suas regiões de classificação.

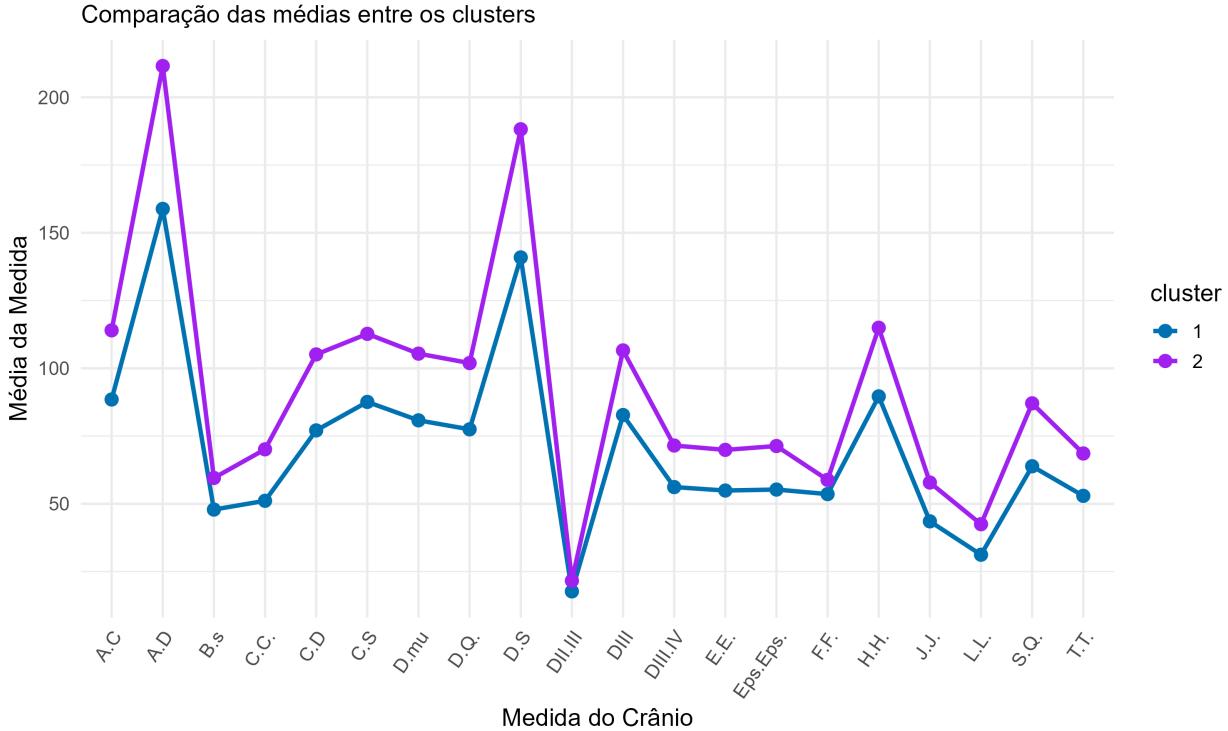


Figure 5: Comparação das médias das medidas entre os clusters.

cargas positivas em ambos os fatores. Isso faz sentido quando se pensa em termos de medidas de crânios, uma vez que quando um crânio é maior que outro, todas as suas medidas tendem a ser maiores.

Devido ao destaque do ponto 11, que corresponde à medida D-Q', pode-se afirmar que ela é a que mais caracteriza a primeira dimensão. De modo análogo, o ponto 10 indica que a medida S-Q' caracteriza a segunda dimensão latente dos dados.

Em seguida, a partir dos escores obtidos pela Análise Fatorial, foram realizadas duas ANOVAs (Análises de Variância) para testar a associação entre os dados nesse novo espaço de dimensão reduzida e as mudanças de período. Assim, as hipóteses testadas foram:

- Hipótese Nula (H_0): Não há diferença entre os escores fatoriais entre os diferentes períodos (Iron Age, Roman Age, Middle Ages).
- Hipótese Alternativa (H_1): O período influencia na diferença dos tamanhos dos crânios.

Para o primeiro fator, o p-valor da ANOVA foi equivalente a 0,959 e, para o segundo, 0,916. Ou seja, não houve evidência suficiente para rejeitar a hipótese nula para nenhuma das duas dimensões e, portanto, foi possível concluir que os períodos não influenciam na diferença do tamanho dos crânios a um nível de significância $\alpha = 0,05$.

Ainda, a Figura 7 permite a interpretação visual dos resultados obtidos pelas ANOVAs. A associação positiva entre os fatores é perceptível pela dispersão dos dados, o que corrobora a escolha da rotação oblíqua por conta da falta de independência entre os fatores.

Com relação à coloração por período, não é possível identificar grupos distintos, o que indica que a variável não está associada à estrutura morfológica dos crânios de maneira clara. Além disso, a falta de equilíbrio da quantidade de observações em cada grupo prejudica a tentativa de uma análise mais geral do gráfico. Isso acontece porque os períodos não correspondem à idade dos crânios diretamente, mas sim ao intervalo de

Cargas Fatoriais

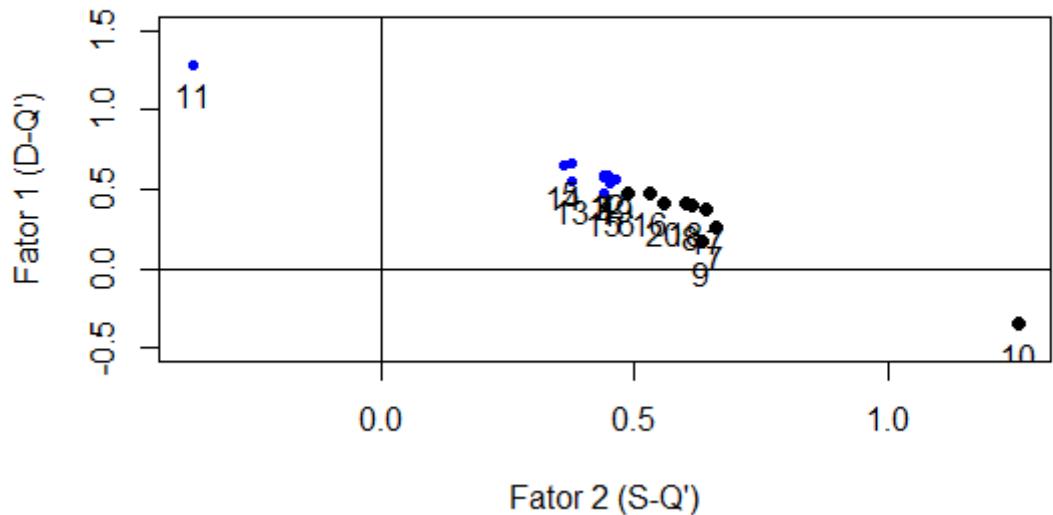


Figure 6: Cargas fatoriais das medidas dos crâneos.

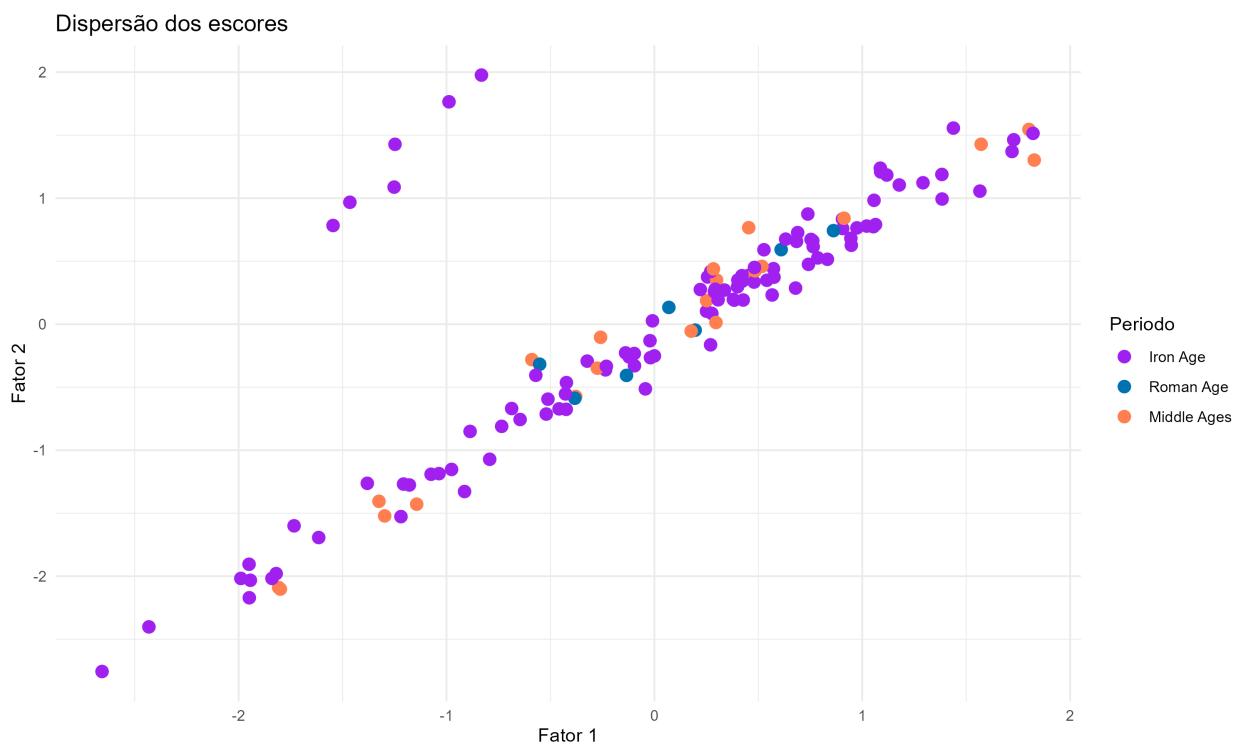


Figure 7: Gráfico de Dispersão dos escores fatoriais de acordo com a variável Período.

atividade das civilizações que viviam nos locais onde os ossos foram encontrados. Logo, há a possibilidade de haverem grupos ocultos entre os dados, e que permanecerão desta forma por falta de informação.

Conclusão

O objetivo deste estudo foi avaliar mudanças morfológicas no crânio dos animais ao longo dos anos, considerando também a associação dessas alterações com a domesticação dos cães. Para isso, foram usadas técnicas de Análise Multivariada (Clusterização, Análise de Componentes Principais e Análise Fatorial) e o método ANOVA para análise de variância.

A análise de clusters permitiu o agrupamento de cães com medidas distintas de crânios: um grupo de cães com crânios maiores, e o outro com crânios menores. Apesar do sucesso no agrupamento, não foi possível afirmar, sem mais informações, se o grupo com crânios maiores correspondia a lobos e cães selvagens, e se o grupo com crânios menores correspondia a cães domesticados (mais recentes).

Em segunda instância, a Análise Fatorial em conjunto com a Análise de Componentes Principais permitiu a redução da dimensionalidade dos dados em duas dimensões. Deste modo, uma parte expressiva (91,3%) da sua variabilidade foi explicada por apenas dois componentes; as medidas D-Q' (88,16%) e S-Q' (3,14%).

Ainda, a ANOVA foi utilizada para testar se a média dos crânios nos diferentes períodos era significativa a nível $\alpha = 0,05$, considerando os dados no novo espaço de dimensão reduzida. A partir dos resultados, foi possível confirmar que o período não impacta no tamanho dos crânios de forma evidente, provavelmente pelo fato de a informação estar relacionada aos locais, e não diretamente aos ossos.

Códigos

Os códigos usados na versão final deste estudo, assim como os códigos usados em análises secundárias e em versões premilares do relatório, podem ser acessados em: <https://github.com/NFredericci/ME731.git>.

Bibliografia

- Everitt, Brian S., Shlomo Landau, Morven Leese, and Daniel Stahl. 2011. *Cluster Analysis*. 5th ed. London: John Wiley & Sons.
- Hair, Joseph F., William C. Black, Barry J. Babin, Ralph E. Anderson, and Ronald L. Tatham. 2010. *Multivariate Data Analysis*. 7th ed. Pearson.
- Scheele, E. E. 2017. “Van Giffen’s dogs: cranial osteometry of Iron Age to Medieval period dogs from the Northern Netherlands.” Dataset; DANS - Data Archiving and Networking Services. <https://doi.org/10.17026/dans-z9b-r2du>.