
ECOLOGIA

IASMIM JADE PERINOTTO

**RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS DA MOELA DE
AVES COM DIFERENTES HÁBITOS
ALIMENTARES**

Rio Claro - SP
2026

IASMIM JADE PERINOTTO

**RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS DA MOELA DE AVES COM DIFERENTES
HÁBITOS ALIMENTARES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção do grau de Ecóloga.

Orientadora Dra. Ana Cristina Vara Crestani
Supervisora Dra. Marina Corrêa Côrtes

Rio Claro - SP

2026

P445r

Perinotto, Iasmim Jade

Relações morfométricas da moela de aves com diferentes hábitos alimentares / Iasmim Jade Perinotto. -- Rio Claro, 2026

42 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio
Claro

Orientadora: Ana Cristina Vara Crestani

1. Aves neotropicais. 2. Medições internas. 3. Nichos tróficos. 4.
Hábitos alimentares. 5. Adaptação digestiva. I. Título.

IASMIM JADE PERINOTTO

**RELAÇÕES MORFOMÉTRICAS DA MOELA DE AVES COM DIFERENTES
HÁBITOS ALIMENTARES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita
Filho”, para obtenção do grau de Ecóloga.

Dra. Ana Cristina Vara Crestani (Orientadora)
Willian Barbosa Simioni
Isadora Zavan Santieff

Aprovado em : 01 de Junho de 2026

Assinatura do Discente

Assinatura do orientador

Supervisora

Rio Claro - SP

2026

Dedico esta monografia aos meus pais
Marcos e Luciana, ao meu irmão Gabriel,
ao meu noivo João, à minha Orientadora e
apoiadora Dra. Ana Cristina, e em especial
à minha amada avó Iraide (in memoriam),
dedico a ecologia e a todos que acreditam
em seus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Universidade Estadual Paulista (UNESP), que foi muito mais do que um espaço de formação acadêmica, sendo também um lugar de aprendizado sobre a vida, crescimento pessoal e construção de caminhos ao longo de toda a graduação.

À minha orientadora, Profa. Dra. Ana Cristina Vara Crestani, pela paciência, dedicação e cuidado durante todo o processo. Agradeço por todos os ensinamentos, pela orientação atenciosa e por ter aceitado conduzir este trabalho, mesmo sendo um tema desafiador.

Aos meus pais, Marcos e Luciana, por todo o apoio, incentivo e por terem me proporcionado as condições necessárias para que eu pudesse me dedicar aos estudos com tranquilidade. Sou profundamente grata por tudo. Ao meu noivo, pelo companheirismo, apoio constante e paciência ao longo dessa trajetória. Obrigada por sempre estar ao meu lado, por me acalmar nos momentos difíceis e por ouvir, com carinho, cada etapa deste trabalho. Aos meus amigos Laura, Totoro, Rafa, Doug, Tui, San e Vampira, que tornaram essa jornada mais leve e significativa. Obrigada por todo o apoio, pelas conversas, risadas e por estarem presentes durante os desafios da vida universitária.

De forma muito especial, dedico este trabalho à minha avó, Iraide de Almeida Camargo. Mesmo não estando presente na terra para acompanhar o início dessa caminhada, sei que sempre esteve comigo, me apoiando e me abençoando. Tenho certeza de que este momento também é seu e que você chora de alegria aí no céu.

Vó, eu consegui. Não desisti por mim, não desisti por você — eu consegui por nós. Dedico este trabalho à ecologia, aos meus amigos, à minha família, ao meu noivo e futuro marido e, principalmente, a você, vó.

“A alimentação das aves está intimamente relacionada à sua morfologia, especialmente à forma do bico e à estrutura do aparelho digestivo, refletindo adaptações evolutivas aos diferentes tipos de alimento disponíveis no ambiente. (SICK, 1997)

RESUMO

A moela desempenha um papel fundamental no processamento mecânico dos alimentos em aves, podendo variar de acordo com características morfológicas e ecológicas das espécies. Neste estudo, investigou-se a relação entre a área da moela, a massa corporal e o nicho trófico em diferentes espécies de aves. Os dados foram analisados por meio de um modelo linear generalizado (GLM), com distribuição Gamma, para avaliar a relação entre a área da moela e a massa corporal, e por um modelo linear misto, incluindo o nicho trófico como fator fixo e a identidade das espécies como efeito aleatório. Os resultados indicaram uma relação positiva e significativa entre a massa corporal e a área da moela, evidenciando um padrão alométrico. Além disso, o nicho trófico também influenciou a variação da área da moela, com destaque para espécies invertívoras e vertívoras, que apresentaram maiores valores em comparação aos demais grupos. Esses resultados sugerem que a variação na área da moela está associada tanto ao tamanho corporal quanto às características da dieta, refletindo adaptações relacionadas ao processamento de diferentes tipos de alimentos. Assim, o estudo contribui para a compreensão das relações entre morfologia, ecologia e alimentação em aves, destacando a importância de integrar fatores alométricos e ecológicos na análise de estruturas digestivas.

Palavras-chave: Aves neotropicais; Medições internas; Nichos tróficos; Hábitos alimentares; Adaptação digestiva.

ABSTRACT

The gizzard plays a fundamental role in the mechanical processing of food in birds and may vary according to morphological and ecological characteristics of different species. This study investigated the relationship between gizzard area, body mass, and trophic niche across bird species. Data were analyzed using a generalized linear model (GLM) with a Gamma distribution to evaluate the relationship between gizzard area and body mass, and a linear mixed model including trophic niche as a fixed factor and species identity as a random effect. The results showed a positive and significant relationship between body mass and gizzard area, indicating an allometric pattern. Additionally, trophic niche also influenced the variation in gizzard area, with invertivorous and vertivorous species showing higher values compared to other groups. These findings suggest that variation in gizzard area is associated with both body size and dietary characteristics, reflecting adaptations related to the processing of different types of food. Thus, this study contributes to a better understanding of the relationships between morphology, ecology, and feeding in birds, highlighting the importance of integrating allometric and ecological factors when analyzing digestive structures.

Keywords: Neotropical birds; Internal measurements; Trophic niches; Feeding habits; Digestive adaptation.

Title in english: Morphometric relationships of the gizzard in birds with different feeding habits.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1 Classificação da dieta (nicho trófico)	14
3.2 Dados de Amostragem	15
3.3 Massa corpórea	16
3.4 Área da moela	17
3.5 Análise estatística	18
4. Resultados	19
5. Discussão	22
6. Conclusão	24
7. Referências	25
APÊNDICE A – BANCO DE DADOS UTILIZADO NAS ANÁLISES	27
APÊNDICE B- SCRIPT DE ANÁLISE ESTATÍSTICA EM R	37

1. INTRODUÇÃO

A diversidade de hábitos alimentares das aves está relacionada a adaptações evolutivas que permitem a exploração de diferentes recursos ao longo dos habitats (RICKLEFS, 1996). Esses hábitos influenciam diretamente a morfologia do trato digestório, especialmente a moela, um órgão muscular responsável pelo processamento mecânico dos alimentos e pela separação de partículas maiores (RICKLEFS, 1996; KARASOV, 1996). Em espécies cuja dieta inclui sementes, frutos ou artrópodes, esse processo exige diferentes formas de trituração e digestão (CHEN; ZHAO, 2019; STARCK, 1999).

O tipo de recurso alimentar utilizado e a forma como esse recurso é explorado no ambiente por determinada espécie é denominado nicho trófico, sendo também entendido como um conjunto multidimensional de condições e recursos que permitem a sobrevivência e reprodução das espécies (ELTON, 1927; BEGON; TOWNSEND; HARPER, 2007; Hutchinson, 1957). Dessa forma, o nicho trófico constitui um componente essencial para a compreensão das interações ecológicas e das adaptações morfológicas e funcionais dos organismos, especialmente em estudos que relacionam dieta e estrutura digestiva (RICKLEFS, 1996; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007; WILMAN et al., 2014).

A moela desempenha um papel fundamental na digestão das aves. Trata-se de um órgão muscular especializado do sistema digestório, responsável pela trituração mecânica do alimento, especialmente em espécies que consomem itens mais duros, como sementes e insetos. Além da ação mecânica, a digestão nas aves envolve processos químicos que se iniciam no proventrículo, onde ocorre a secreção de enzimas digestivas, como a pepsina, e ácido clorídrico, responsáveis pela quebra inicial de proteínas (DUKE, 1986; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007; SVIHUS, 2011). Esses compostos seguem para a moela, onde, associados à contração muscular intensa e, em alguns casos, à presença de partículas abrasivas ingeridas (como areia ou pequenas pedras), promovem a fragmentação eficiente do alimento, aumentando a superfície de contato para a ação enzimática subsequente no intestino (DUKE, 1986; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007; STARCK, 1999; SVIHUS, 2011). Dessa forma, a moela integra processos de digestão mecânica e química, contribuindo para a eficiência do processo digestivo em aves (DUKE, 1986;

KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007; STARCK, 1999; DE COLDEBELLA et al., 2024). Em aves frugívoras, por exemplo, pode ocorrer a separação entre polpa e sementes ao longo do trato digestório, favorecendo a dispersão de sementes (STANLEY; LILL, 2002). Já em espécies insetívoras, os invertebrados consumidos são fragmentados, facilitando a digestão (KARASOV, 1996). Além disso, há indicações de que a digestão de proteínas pode começar ainda na moela, pela ação de enzimas proteolíticas (CAREY, 1996).

As características morfológicas da moela variam entre espécies e estão associadas ao tipo de dieta, refletindo adaptações funcionais do sistema digestório aos alimentos consumidos (KARASOV, 1996; SVIHUS, 2011). Essas diferenças correspondem a demandas distintas de processamento mecânico. Esse padrão é particularmente evidente em aves granívoras e frugívoras, nas quais a eficiência digestiva depende fortemente da estrutura da moela (LITZ et al., 2020; STARCK, 1999; RICKLEFS, 1996). Ao mesmo tempo, a morfologia da moela não está relacionada apenas à digestão, estando também associada ao comportamento alimentar, às interações ecológicas e até à distribuição das espécies (RICKLEFS, 1996; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007). Por exemplo, espécies que consomem alimentos mais duros, como sementes, tendem a apresentar moelas mais desenvolvidas, o que influencia suas estratégias de forrageamento e a forma como exploram os recursos disponíveis no ambiente (KARASOV, 1996; RICKLEFS, 1996; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007). Em contraste, espécies que se alimentam de itens mais macios, como frutos ou néctar, geralmente possuem moelas menos musculosas, refletindo diferentes exigências ecológicas (STARCK, 1999; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007).

Além da função digestiva, a moela pode estar relacionada à diversificação ecológica. Espécies com diferentes hábitos alimentares tendem a ocupar nichos distintos, embora, em alguns casos, esses nichos possam se sobrepor dentro das comunidades de aves (CHEN; ZHAO, 2019; STARCK, 1999; RELYEA; RICKLEFS, 2021). No entanto, a dieta das aves não é tratada de forma uniforme na literatura. Existem diferentes interpretações, muitas vezes sem um padrão bem definido, o que dificulta a classificação do nicho trófico de cada espécie (GONZÁLEZ-SALAZAR et al., 2014). Isso pode gerar divergências entre estudos e dificultar comparações.

Nesse sentido, o uso de categorias alimentares padronizadas contribui para uma melhor definição do perfil alimentar de cada espécie e facilita análises envolvendo morfometria da moela, massa corporal e tipo de dieta (CHEN; ZHAO, 2019; LITZ et al., 2020; RICKLEFS, 1996). Por isso, analisar a variação morfométrica da moela pode contribuir para a compreensão não apenas da fisiologia digestiva, mas também de aspectos relacionados à ecologia evolutiva, às estratégias de forrageamento e às possíveis interações competitivas (RICKLEFS, 1996; CAVIEDES-VIDAL et al., 2007).

Apesar da importância da moela ser bem conhecida, ainda existem lacunas quanto a variação morfométrica entre espécies com diferentes hábitos alimentares. Investigar essas diferenças pode contribuir para uma melhor compreensão de como adaptações digestivas se relacionam com aspectos ecológicos e evolutivos, bem como da relação entre dieta, morfologia e comportamento. Assim, este estudo busca avaliar a hipótese de que variações morfométricas da moela estão associadas aos hábitos alimentares de aves neotropicais, contribuindo para o entendimento da influência da dieta na evolução de estruturas digestivas e suas implicações ecológicas.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a variação da área da moela em espécies de aves pertencentes a diferentes nichos tróficos, a fim de avaliar a relação entre a morfometria desse órgão e o tipo de dieta consumida.

Busca-se investigar a relação entre as variáveis (relação alométrica) entre as medidas da moela e a massa corpórea das espécies analisadas, contribuindo para o entendimento das adaptações digestivas associadas a diferentes padrões alimentares.

As hipóteses testadas neste estudo são:

1. A área da moela varia entre os diferentes nichos tróficos, refletindo diferenças nas necessidades de processamento mecânico dos alimentos, sendo esperadas maiores dimensões em espécies que consomem itens mais resistentes, como sementes.
2. Existe uma relação alométrica entre a massa corporal e a área da moela, na qual o aumento do tamanho corporal está associado ao aumento da área do órgão digestivo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Classificação da dieta (nicho trófico)

Este estudo adotou a classificação de nichos tróficos proposta por Tobias et al. (2022), por meio do banco de dados “AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds”, que reúne informações morfológicas, ecológicas e geográficas da maior parte das espécies de aves do globo (Tobias et al., 2022). As dietas em AVONET são organizadas em diferentes categorias tróficas, fundamentadas em estudos prévios (Wilman et al., 2014; Tobias; Pigot, 2019). Essas categorias foram utilizadas para agrupar as aves em guildas tróficas, permitindo a realização de análises e a investigação da relação entre a morfometria da moela e o tipo de dieta.

Tabela 1 Critérios de classificação dos nichos tróficos adotados neste estudo, adaptados de Tobias et al. (2022).

Nicho trófico	Critério de classificação	Proporção mínima da dieta (%)
Frugívoro	Espécies cuja dieta é composta predominantemente por frutos	> 60% de consumo de frutos
Granívoro	Espécies que consomem principalmente sementes	> 60% de consumo de sementes
Nectarívoro	Espécies com dieta baseada majoritariamente em néctar	> 60% de consumo de néctar
Invertívoro	Espécies com dieta baseada em recursos alimentares de invertebrados em ambientes terrestres	> 60% de consumo de invertebrados terrestres
Vertívoro	Consumo predominante de pequenos vertebrados (mamíferos, aves, répteis, anfíbios etc.)	> 60% de consumo de vertebrados

Onívoro	Espécies com dieta variada, sem predominância clara de um único grupo alimentar	Uso de múltiplos itens durante a alimentação
---------	---	--

Fonte: Tobias et al. (2022).

3.2 Dados de Amostragem

Foi utilizado um banco de dados de medidas morfométricas internas e externas de diferentes espécies de aves, pertencente ao Departamento de Biodiversidade da UNESP de Rio Claro. Todos os indivíduos analisados fazem parte do acervo do departamento com causa da morte desconhecida, o que elimina a necessidade de captura de espécimes para fins de estudo. As amostras foram devidamente armazenadas em freezers nas dependências do departamento, garantindo preservação adequada para análise. Foram amostrados de um até trinta e um indivíduos por espécie classificados em: frugívoros, granívoros, insetívoros, nectarívoros, onívoros e vertívoros (Tabela 2).

As espécies incluídas apresentam ampla variação em áreas de ocorrência e padrões alimentares, refletindo a diversidade ecológica do grupo e garantindo que os dados coletados sejam representativos da realidade (BURIN et al. 2016; Tobias et al. 2022). A tabela 2 apresenta as espécies que foram amostradas e suas classificações segundo o estudo de Tobias et al. (2022), sendo possível compreender a diversidade de indivíduos e nichos analisados.

Tabela 2 Espécies amostradas no estudo e suas classificações no nicho trófico, adaptado de Tobias et al. (2022)

Família	Espécie	Nicho trófico	Nº de indivíduos amostrados
Psittacidae	<i>Amazona aestiva</i>	Frugívoro	1
Thraupidae	<i>Thraupis ornata</i>	Frugívoro	3
Turdidae	<i>Turdus leucomelas</i>	Frugívoro	20
Columbidae	<i>Columbina talpacoti</i>	Granívoro	5

Passeridae	<i>Passer domesticus</i>	Granívoro	6
Furnariidae	<i>Furnarius rufus</i>	Invertívoro	3
Tyrannidae	<i>Myiodynastes maculatus</i>	Invertívoro	3
Hirundinidae	<i>Pygochaelidon cyanoleuca</i>	Invertívoro	3
Thraupidae	<i>Saltator similis</i>	Invertívoro	3
Turdidae	<i>Turdus amaurochalinus</i>	Invertívoro	4
Turdidae	<i>Turdus rufiventris</i>	Invertívoro	6
Tyrannidae	<i>Tyrannus melancholicus</i>	Invertívoro	5
Picidae	<i>Picumnus sp.</i>	Invertívoro	1
Picidae	<i>Colaptes Campestris</i>	Invertívoro	1
Thraupidae	<i>Coereba flaveola</i>	Nectarívoro	1
Trochilidae	<i>Chionomesa lactea</i>	Nectarívoro	1
Trochilidae	<i>Florisuga fusca</i>	Nectarívoro	1
Psittacidae	<i>Ara ararauna</i>	Onívoro	1
Tyrannidae	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Onívoro	1
Thraupidae	<i>Thraupis sayaca</i>	Onívoro	31
Strigidae	<i>Athene cunicularia</i>	Vertívoro	2

3.3 Massa corpórea

Os indivíduos, previamente armazenados sob congelamento, foram descongelados em temperatura ambiente e pesados em uma balança de precisão científica, registrando-se o peso em gramas com duas casas decimais. Para a pesagem, o indivíduo foi colocado inteiro na balança, a fim de evitar a perda de dados relacionados ao peso.

3.4 Área da moela

Após a realização das medições externas, incluindo o peso corporal e o comprimento total da ave, procedeu-se à remoção da moela. Para isso, foi realizado um corte na região peitoral da ave, permitindo a exposição dos órgãos internos, seguido da extração cuidadosa da moela da cavidade torácica.

Com a moela isolada, iniciou-se a medição de suas dimensões, com o objetivo de obter informações sobre a área, definida como comprimento multiplicado pela largura do órgão. O comprimento foi determinado utilizando um paquímetro, medindo-se desde o início do proventrículo (a), até a extremidade inferior do estômago muscular (b). Já a largura foi obtida na região central do estômago muscular (b), próxima à conexão com o duodeno (c), representando a porção mais volumosa do órgão (Figura 1).

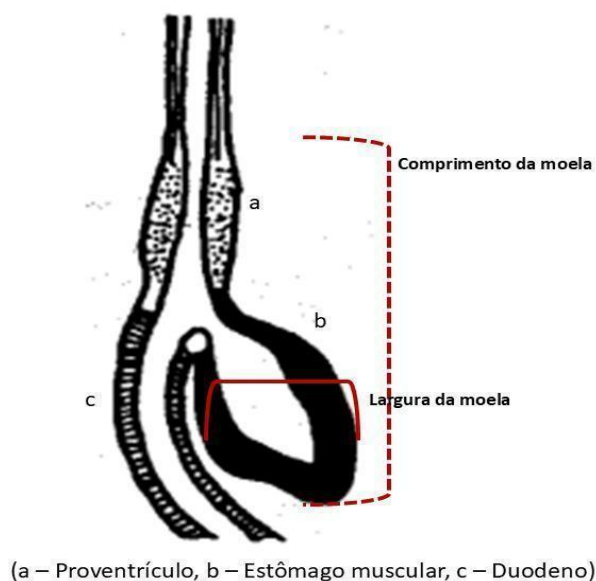


Figura 1- Representação da moela evidenciando os pontos anatômicos utilizados nas mensurações.

O comprimento foi obtido entre o início do proventrículo (a) e a extremidade inferior do estômago muscular (b), enquanto a largura foi medida na região central do estômago muscular (b), próxima à conexão com o duodeno (c), correspondente à porção de maior volume do órgão. (crédito: Ana Cristina Vara Crestani).

3.5 Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas no software R, com o objetivo de investigar a relação entre a área da moela, a massa corporal e o nicho trófico das espécies. Inicialmente, foi realizada uma análise exploratória dos dados para avaliar sua distribuição e possíveis desvios de normalidade, utilizando histogramas e gráficos quantil-quantil (Q-Q plot). Além disso, foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk. A relação entre a área da moela e a massa corporal foi analisada por meio de um Modelo Linear Generalizado (GLM), com distribuição Gamma e função de ligação log, considerando que a variável resposta é contínua, positiva e apresenta assimetria.

Para avaliar o efeito do nicho trófico sobre a área da moela, foi ajustado um modelo linear misto. Para esse modelo, foi utilizada a transformação logarítmica (log), visando reduzir a assimetria e melhorar o ajuste do modelo. A área da moela foi utilizada como variável resposta, o nicho trófico como variável explicativa e a massa corporal como variável aditiva. A identidade das espécies foi incluída como efeito aleatório, a fim de considerar a não independência entre observações da mesma espécie. As médias ajustadas para cada nicho foram obtidas com o pacote emmeans, permitindo a comparação entre os grupos após o controle das demais variáveis do modelo. As comparações múltiplas foram realizadas com ajuste de Tukey, adotando nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

4. Resultados

Observou-se uma relação positiva e significativa entre massa corporal e a área da moela (Tabela 3), indicando que indivíduos com maior massa corporal tendem a apresentar maior área da moela. Esse padrão pode ser visualizado na Figura 2.

Tabela 3 Modelo GLM para área da moela em função da massa corporal

Variável	Estimativa (β)	Erro padrão	t valor	p-valor
Intercepto	5,729	0,071	80,808	<0.001*
Massa corporal	0,0018	0,0004	4,769	<0.001*

*p-valor <0,05

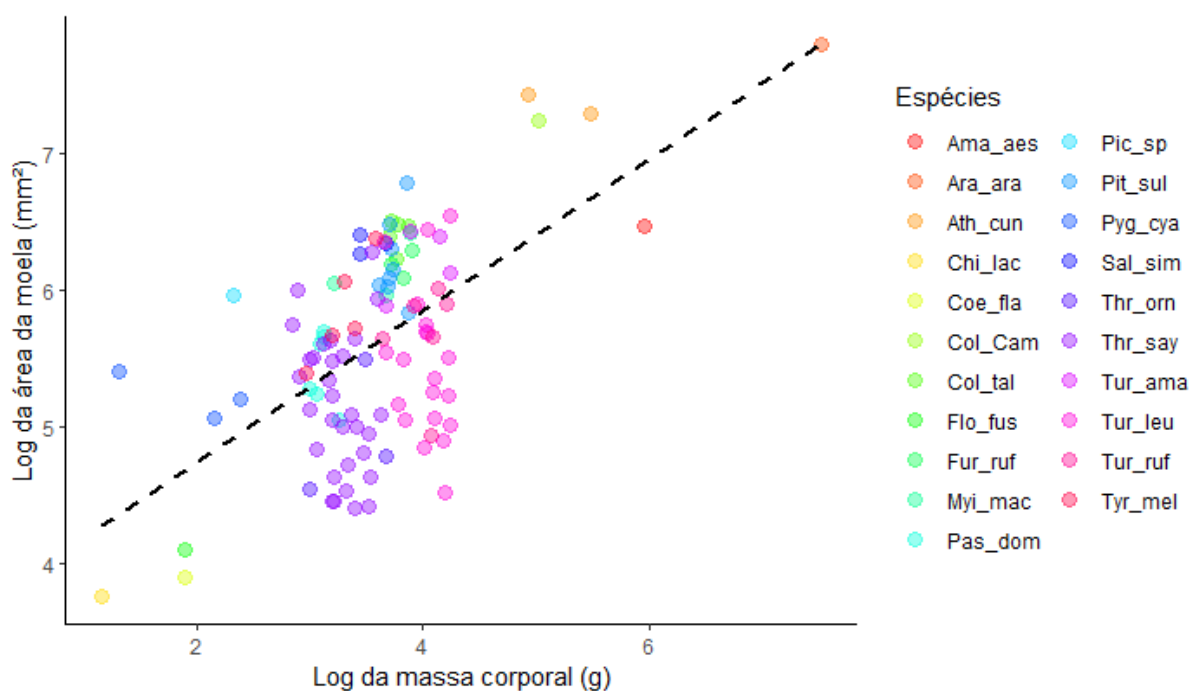


Figura 2- Relação entre a massa corporal e a área da moela em aves. Cada ponto representa um indivíduo, com cores indicando as diferentes espécies. A linha tracejada representa a tendência da relação entre as variáveis.

Códigos das espécies: Ama_aes – *Amazona aestiva*; Ara_ara – *Ara ararauna*; Ath_cun – *Athene cunicularia*; Chi_lac – *Chionomesa lactea*; Coe_fla – *Coereba flaveola*; Col_cam – *Colaptes campestris*; Col_tal – *Columbina talpacoti*; Flo_fus – *Florisuga fusca*; Fur_ruf – *Furnarius rufus*; Myi_mac – *Myiodynastes maculatus*; Pas_dom – *Passer domesticus*; Pic_sp – *Picumnus sp.*; Pit_sul – *Pitangus sulphuratus*; Pyg_cya – *Pygochaelidon cyanoleuca*; Sal_sim – *Saltator similis*; Thr_orn –

Thraupis ornata; Thr_say – *Thraupis sayaca*; Tur_ama – *Turdus amaurochalinus*; Tur_leu – *Turdus leucomelas*; Tur_ruf – *Turdus rufiventris*; Tyr_mel – *Tyrannus melancholicus*.

Foi observada associação significativa entre a área da moela e o nicho trófico no modelo, com efeito significativo principalmente em espécies invertívoras e vertívoras. O efeito da massa corporal também se manteve significativo, indicando sua influência na variação da área da moela.

Tabela 4 Modelo linear misto para log(área da moela)

Variável	Estimativa (β)	Erro padrão	t valor	p-valor
(Intercept)	3.73554	0.44321	8,428	<0.001*
Granívoro	0.73538	0,34687	2,120	<0.001*
Invertívoro	0,82142	0,27073	3,034	<0.001*
Nectarívoro	-0,50880	0,44810	-1,135	0,26596
Onívoro	0,52346	0,31106	1,683	0,12079
Vertívoro	1,44285	0,50216	2,873	<0.001*
Log(massa corporal)	0,41756	0,09152	4,563	<0.001*

*p-valor <0,05

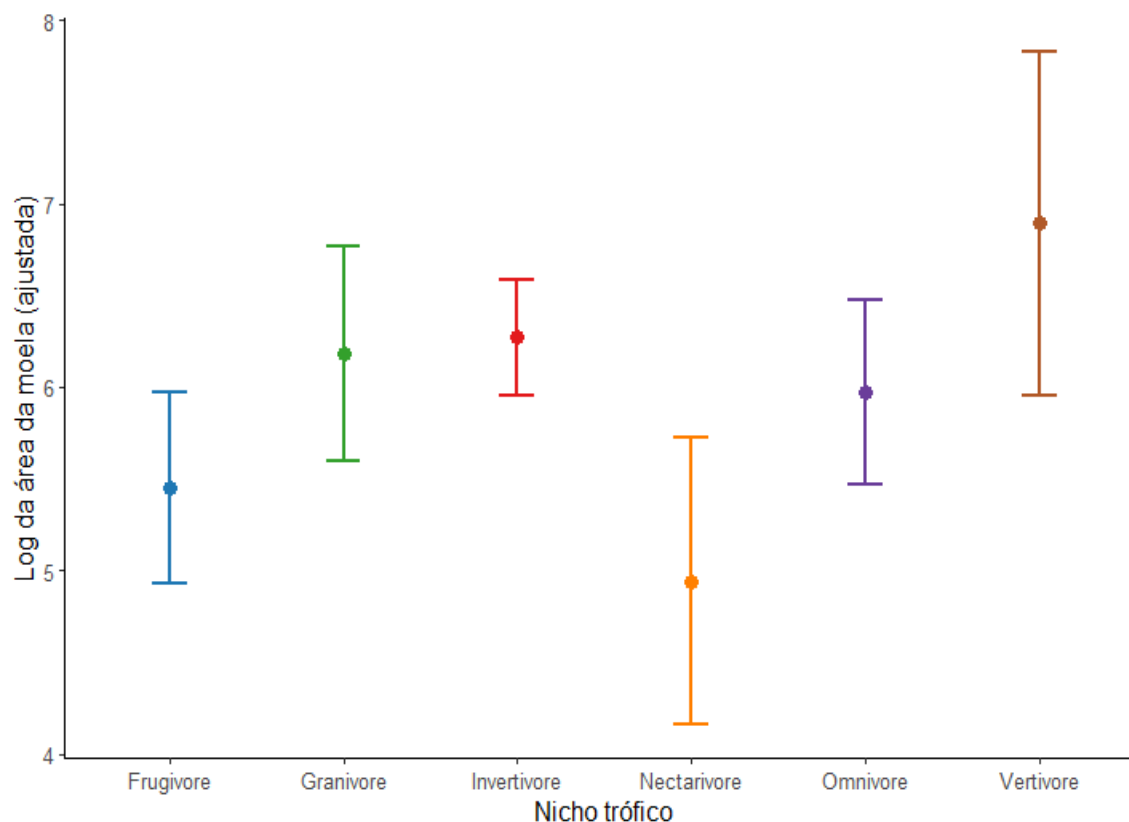


Figura 3- Médias ajustadas do log da área da moela entre os diferentes nichos tróficos. Os valores foram obtidos a partir do modelo linear misto, controlando o efeito da massa corporal. As barras representam os intervalos de confiança de 95%.

As médias ajustadas do modelo para os diferentes nichos tróficos são apresentadas apenas de forma descritiva (Figura 3), uma vez que o objetivo principal não foi testar diferenças entre os grupos, mas avaliar o efeito da massa corporal sobre a área da moela. De forma geral, os resultados indicam que a variação na área da moela está associada à massa corporal e sugerem uma possível influência do nicho trófico, evidenciando a atuação conjunta de fatores alométricos e ecológicos.

5. Discussão

Os resultados mostram que a área da moela varia tanto com a massa corporal quanto com o nicho trófico, indicando que esses dois fatores atuam juntos. A relação positiva com a massa corporal já era esperada, já que aves maiores tendem a apresentar órgãos proporcionalmente maiores, acompanhando a maior demanda energética e a necessidade de processar mais alimento (RICKLEFS, 1996). Esse tipo de padrão aparece com frequência em estudos com aves, principalmente quando o foco está no sistema digestório e sua relação com o tamanho corporal. Mas os resultados deixam claro que não é só o tamanho do corpo que importa, mas o tipo de alimento também. Isso não é algo isolado deste estudo. Trabalhos anteriores já relataram que características morfológicas em aves estão ligadas ao nicho trófico, refletindo adaptações ao tipo de recurso explorado (PIGOT et al., 2020; WILMAN et al., 2014). Em linhas gerais, a forma acompanha a função, de modo que estruturas corporais respondem às exigências da dieta, sendo frequentemente possível inferir aspectos do nicho alimentar a partir da morfologia (RICKLEFS, 1996; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007; LACK, 1968).

Quando o efeito da massa corporal é controlado no modelo, o nicho trófico continua influenciando a área da moela, o que reforça essa ideia. Ao analisar os grupos, isso se torna ainda mais evidente: espécies invertívoras e vertívoras apresentam valores mais elevados, enquanto nectarívoros apresentam valores menores. Esse resultado não é inesperado do ponto de vista biológico. Alimentos mais resistentes, como a quitina presente no exoesqueleto de insetos ou tecidos animais ricos em proteínas estruturais, exigem maior processamento mecânico, além de maior atuação de enzimas proteolíticas no processo digestivo (KARASOV, 1996; KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007). Em contrapartida, dietas líquidas, como o néctar, compostas principalmente por açúcares simples, ou alimentos mais macios, demandam menor esforço mecânico e são rapidamente digeridas por ação enzimática ao longo do trato digestório (KARASOV; MARTÍNEZ DEL RIO, 2007; CAVIEDES-VIDAL et al., 2007). Nesse contexto, a moela atua principalmente na fragmentação do alimento, aumentando a superfície de contato e potencializando a ação das enzimas digestivas previamente secretadas no proventrículo (KARASOV, 1996; CAVIEDES-VIDAL et al., 2007).

Embora a massa corporal e a dieta sejam fatores importantes, outros elementos também podem influenciar a variação observada na moela. Fatores como o ambiente, a disponibilidade de alimento ao longo do tempo e a história evolutiva das espécies podem interferir no desenvolvimento dessa estrutura (RICKLEFS, 1996; WILMAN et al., 2014). Além disso, há evidências de que a moela pode apresentar flexibilidade em resposta a mudanças na dieta, indicando um certo grau de plasticidade fenotípica (STARCK, 1999). Esse aspecto pode contribuir para explicar por que os padrões observados nem sempre são totalmente lineares ou previsíveis entre os grupos.

A relação entre morfologia digestiva e nicho alimentar ajuda a compreender como as espécies exploram os recursos disponíveis no ambiente (WILMAN et al., 2014; LOPES et al., 2016). Espécies com moelas mais desenvolvidas podem consumir alimentos estruturalmente mais resistentes, como sementes com tegumento rígido ou presas com exoesqueleto quitinoso, enquanto outras permanecem associadas a itens de maior digestibilidade, refletindo adaptações funcionais ao tipo de dieta (KARASOV, 1996; CAVIEDES-VIDAL et al., 2007). Isso pode influenciar como as espécies se distribuem e convivem dentro de uma população regional ou local, reduzindo a sobreposição de nicho e, conseqüentemente, a competição direta entre elas (BURIN et al., 2016; RICKLEFS, 1996). Além disso, esse tipo de padrão também se relaciona com questões evolutivas. Ao longo do tempo, diferentes dietas podem ter favorecido mudanças na estrutura da moela, levando às diferenças observadas entre as espécies na atualidade (KARASOV, 1996; CAVIEDES-VIDAL et al., 2007). Esse tipo de associação entre dieta e morfologia é amplamente discutido na literatura, indicando que características funcionais do sistema digestório podem evoluir em resposta às demandas alimentares (WILMAN et al., 2014; BURIN et al., 2016). Assim, de certa forma, a moela acaba refletindo tanto o modo de vida atual quanto a história evolutiva das espécies (RICKLEFS, 1996).

6. Conclusão

Os resultados apresentados neste estudo indicam que a área da moela está associada tanto à massa corporal quanto a variações associadas ao nicho trófico das espécies analisadas. Esses achados reforçam que a variação dessa estrutura não depende apenas do tamanho corporal, mas também das características da dieta, evidenciando a atuação conjunta de fatores alométricos e ecológicos. Além disso, os resultados contribuem para a compreensão das relações entre morfologia digestiva e uso de recursos em aves, mostrando como estruturas internas podem refletir o modo de vida das espécies.

Estudos futuros podem ampliar essa abordagem incluindo outras variáveis potencialmente relevantes, como o tipo de habitat, a disponibilidade de alimento ao longo do tempo, aspectos filogenéticos e até mesmo preferências alimentares. A incorporação desses fatores pode ajudar a aprofundar o entendimento sobre os processos ecológicos e evolutivos que influenciam a variação da moela.

7. Referências

BURIN, G.; KISSLING, W. D.; GUIMARÃES, P. R. et al. Omnivory in birds is a macroevolutionary sink. *Nature Communications*, v. 7, p. 11250, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms11250>.

CAVIEDES-VIDAL, E. et al. The digestive adaptation of flying vertebrates: high intestinal paracellular absorption compensates for smaller guts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 104, n. 48, p. 19132–19137, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0703159104>.

CAREY, C. *Avian energetics and nutritional ecology*. New York: Chapman & Hall, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0425-8>

CHEN, Y.-H.; ZHAO, H. Evolution of digestive enzymes and dietary diversification in birds. *PeerJ*, v. 7, e6840, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.6840>.

DE COLDEBELLA, A.; SCHMIDT, G. S.; ÁVILA, V. S. Desempenho produtivo e características da moela de frangos de corte criados em diferentes materiais de cama. 2024. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1167562>.

GONZÁLEZ-SALAZAR, C.; MARTÍNEZ-MEYER, E.; LÓPEZ-SANTIAGO, G. A hierarchical classification of trophic guilds for North American birds and mammals. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, v. 85, n. 3, p. 931–941, 2014. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.38023>.

KARASOV, W. H. Digestive physiology and feeding ecology of birds. In: CAREY, C. (ed.). *Avian energetics and nutritional ecology*. New York: Chapman & Hall, 1996. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0425-8_3

LITZ, F. H. et al. Parâmetros zootécnicos e desenvolvimento da moela de frangos de corte em dietas de sorgo grão e a inclusão de carotenoides. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 72, n. 2, p. 607–614, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11483>.

LOPES, L. E. et al. A classification scheme for avian diet types. *Journal of Field Ornithology*, v. 87, n. 3, p. 309–322, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfo.12158>

NIETO, A.; KERWER, L.; TINOCO, B. A.; NEUSCHULZ, E. L.; SCHLEUNING, M. Variation in bird diversity and composition between elevations and human land-use types in a seasonally dry tropical forest. *Acta Oecologica*, v. 130, p. 104154, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2025.104154>.

RELYEA, R.; RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021.

RICKLEFS, R. E. Morphometry of the digestive tracts of some passerine birds. *The Auk*, v. 113, p. 279–292, 1996. DOI: <https://doi.org/10.2307/1369146>

SICK, H. *Ornitologia brasileira*. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.

STANLEY, M. C.; LILL, A. Does seed packaging influence fruit consumption and seed passage in an avian frugivore? *The Condor*, v. 104, p. 136–145, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/condor/104.1.136>

STARCK, J. M. Phenotypic flexibility of the avian gizzard: rapid, reversible and repeated changes of organ size in response to changes in dietary fibre content. *Journal of Experimental Biology*, v. 202, n. 22, p. 3171–3179, 1999. DOI: [10.1242/jeb.202.22.3171](https://doi.org/10.1242/jeb.202.22.3171)

SVIHUS, B. The gizzard: function, influence of diet. *World's Poultry Science Journal*, v. 67, p. 207–224, 2011. <https://doi.org/10.1017/S0043933911000249>.

TOBIAS, J. A. et al. AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. *Ecology Letters*, v. 25, n. 3, p. 581–597, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.13898>.

WILMAN, H. et al. EltonTraits 1.0: species-level foraging attributes of the world's birds and mammals. *Ecology*, v. 95, p. 2027, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1890/13-1917.1>.

APÊNDICE A – BANCO DE DADOS UTILIZADO NAS ANÁLISES

O banco de dados utilizado nas análises estatísticas, incluindo as variáveis morfométricas e ecológicas, está apresentado a seguir.

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Ama_aes	387,58	644,4	Frugivore
Ara_ara	1846	2408,32	Omnivore
Ath_cun	241,41	1451,78	Vertivore
Coe fla	6,67	49,54	Nectarivore
Chi_lac	3,21	42,77	Nectarivore
Col_tal	40,64	593,12	Granivore
Col_tal	41,05	669,88	Granivore
Col_tal	43,96	650,33	Granivore
Col_tal	48,01	641,97	Granivore
Col_tal	43,43	503,43	Granivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Flo_fus	6,71	60,09	Nectarivore
Fur_ruf	41,46	487,75	Invertivore
Fur_ruf	45,9	438,7	Invertivore
Fur_ruf	49,41	540,16	Invertivore
Myi_mac	39,3	388,11	Invertivore
Myi_mac	49,1	609,09	Invertivore
Myi_mac	24,8	421,05	Invertivore
Pas_dom	21,34	187,74	Granivore
Pas_dom	20,05	196,71	Granivore
Pas_dom	22,77	295,95	Granivore
Pas_dom	22,63	286,14	Granivore
Pas_dom	21,99	272,81	Granivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Pas_dom	26,14	156,77	Granivore
Pit_sul	40,2	414,52	Omnivore
Pit_sul	41,3	543,02	Omnivore
Pit_sul	40,5	652,4	Omnivore
Pit_sul	40,8	438,83	Omnivore
Pit_sul	48,4	342,7	Omnivore
Pit_sul	41,9	469,04	Omnivore
Pit_sul	37,3	419,74	Omnivore
Pit_sul	47,26	878,66	Omnivore
Pyg_cya	8,63	158,84	Invertivore
Pyg_cya	10,96	180,46	Invertivore
Pyg_cya	3,74	222,58	Invertivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Sal_sim	39,32	565,37	Invertivore
Sal_sim	31,2	604,2	Invertivore
Sal_sim	31,37	527,16	Invertivore
Thr_orn	33,04	244,17	Frugivore
Thr_orn	39,53	120,07	Frugivore
Thr_orn	20,06	93,95	Frugivore
Thr_say	26,9	248,47	Omnivore
Thr_say	23,9	207,94	Omnivore
Thr_say	26,8	148,51	Omnivore
Thr_say	32,25	122,22	Omnivore
Thr_say	24,5	239,18	Omnivore
Thr_say	25	85,82	Omnivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Thr_say	27,6	92,65	Omnivore
Thr_say	24,7	86,61	Omnivore
Thr_say	29,8	281,85	Omnivore
Thr_say	20,1	167,3	Omnivore
Thr_say	22,77	271,52	Omnivore
Thr_say	18,22	403,19	Omnivore
Thr_say	24,09	278,83	Omnivore
Thr_say	17,34	311,99	Omnivore
Thr_say	20,75	245,6	Omnivore
Thr_say	18,47	212,72	Omnivore
Thr_say	24,47	186,64	Omnivore
Thr_say	25,11	103,03	Omnivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Thr_say	30,13	81,64	Omnivore
Thr_say	34,2	103,19	Omnivore
Thr_say	24,53	156,56	Omnivore
Thr_say	20,19	241,94	Omnivore
Thr_say	21,34	126,3	Omnivore
Thr_say	34,14	82,88	Omnivore
Thr_say	28,3	111,67	Omnivore
Thr_say	28,99	161,87	Omnivore
Thr_say	35,08	532,25	Omnivore
Thr_say	36,64	378,99	Omnivore
Thr_say	30,26	148,16	Omnivore
Thr_say	37,95	162,45	Omnivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Thr_say	34,15	140,77	Omnivore
Tur_ama	49,29	617,1	Invertivore
Tur_ama	39,28	360,31	Invertivore
Tur_ama	69,31	454,2	Invertivore
Tur_ama	63,21	594,45	Invertivore
Tur_leu	69,4	692,73	Frugivore
Tur_leu	57	625,9	Frugivore
Tur_leu	60,8	157,07	Frugivore
Tur_leu	66,2	92,04	Frugivore
Tur_leu	68,8	244,9	Frugivore
Tur_leu	46,2	243,59	Frugivore
Tur_leu	46,5	156,8	Frugivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Tur_leu	55	127,37	Frugivore
Tur_leu	60	190,21	Frugivore
Tur_leu	56,81	295,01	Frugivore
Tur_leu	65	133,84	Frugivore
Tur_leu	56,2	314,15	Frugivore
Tur_leu	52,1	365,38	Frugivore
Tur_leu	38,68	576,55	Frugivore
Tur_leu	69,84	149,66	Frugivore
Tur_leu	68,23	185,84	Frugivore
Tur_leu	44,1	175,83	Frugivore
Tur_leu	56,21	298,47	Frugivore
Tur_leu	39,69	256,56	Frugivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Tur_leu	60,69	212,33	Frugivore
Tur_ruf	50,8	360,21	Invertivore
Tur_ruf	67,6	362,73	Invertivore
Tur_ruf	59,41	287,01	Invertivore
Tur_ruf	62,256	408,87	Invertivore
Tur_ruf	58,85	139,38	Invertivore
Tur_ruf	38,43	282,32	Invertivore
Tyr_mel	30,1	305,75	Invertivore
Tyr_mel	24,7	290,72	Invertivore
Tyr_mel	19,5	220,65	Invertivore
Tyr_mel	35,8	585,3	Invertivore
Tyr_mel	27,2	428,96	Invertivore

Código espécie	Peso (g)	Área da moela	Nicho
Pic_sp	10,3	389,6	Invertivore
Ath_cun	138	1676,79	Vertivore
Col_Cam	151,28	1380,99	Invertivore

APÊNDICE B- SCRIPT DE ANÁLISE ESTATÍSTICA EM R

O script utilizado para a realização das análises estatísticas em ambiente R está apresentado a seguir.

Os dados utilizados correspondem ao banco apresentado no Apêndice A deste trabalho.

```
# =====
# 1. Importação dos dados
# =====

# Leitura do banco de dados (Apêndice A)
morpho.ias <- read.csv2("dados_moela.csv",
                        fileEncoding = "Latin1")

# Garantir apenas as 4 primeiras colunas (evita erro de estrutura)
names(morpho.ias)[1:4] <- c("Cod", "Peso", "Moela", "Nicho")

# Converter variáveis categóricas corretamente
morpho.ias$Cod <- as.factor(morpho.ias$Cod)
morpho.ias$Nicho <- as.factor(morpho.ias$Nicho)

# Visualização geral dos dados
summary(morpho.ias)

# =====
# 2. Análise exploratória e distribuição dos dados
# =====

# Histograma da área da moela
hist(morpho.ias$Moela, breaks = 20,
     main = "Histograma da área da moela")

# Q-Q plot
qqnorm(morpho.ias$Moela)
```

```

qqline(morpho.ias$Moela, col = "red")

# Teste de normalidade (Shapiro-Wilk)
shapiro.test(morpho.ias$Moela)
shapiro.test(morpho.ias$Peso)

# =====
# 3. Transformação dos dados
# =====

# Mantido apenas se necessário para modelos futuros
morpho.ias$moela_log <- log(morpho.ias$Moela)
morpho.ias$peso_log <- log(morpho.ias$Peso)

# =====
# 4. Modelo GLM (relação massa corporal x área da moela)
# =====

model_glm <- glm(Moela ~ Peso,
                 family = Gamma(link = "log"),
                 data = morpho.ias)

summary(model_glm)

# =====
# 5. Modelo linear misto (efeito do nicho trófico)
# =====

library(lme4)
library(lmerTest)

model <- lmer(log(Moela) ~ Nicho + log(Peso) + (1 | Cod),
             data = morpho.ias)

```

```
summary(model)
```

```
# =====
```

```
# 6. Comparações múltiplas (Tukey)
```

```
# =====
```

```
library(emmeans)
```

```
pairs(emmeans(model, ~ Nicho), adjust = "tukey")
```

```
# =====
```

```
# 7. Verificações do banco de dados
```

```
# =====
```

```
table(morpho.ias$Nicho)
```

```
colSums(is.na(morpho.ias))
```

```
nrow(morpho.ias)
```

```
length(unique(morpho.ias$Cod))
```

```
# =====
```

```
# 8. Gráficos
```

```
# =====
```

```
library(ggplot2)
```

```
# -----
```

```
# Figura 3 – Médias ajustadas por nicho
```

```
# -----
```

```
em <- emmeans(model, ~ Nicho)
```

```
df <- as.data.frame(em)
```

```
fig2 <- ggplot(df, aes(x = Nicho, y = emmean, color = Nicho)) +
```

```

geom_point(size = 3) +

geom_errorbar(aes(ymin = lower.CL, ymax = upper.CL),
              width = 0.2, linewidth = 0.8) +

labs(x = "Nicho trófico",
     y = "Log da área da moela (ajustada)") +

theme_classic() +
theme(text = element_text(size = 12),
      legend.position = "none")

fig2

ggsave("Figura2.png", fig2, width = 8, height = 6, dpi = 300)

# -----
# Figura 2 – Relação massa x moela (por espécie)
# -----

cores <- rainbow(length(unique(morpho.ias$Cod)))

ggplot(morpho.ias,
       aes(x = log(Peso), y = log(Moela), color = Cod)) +

geom_point(size = 2.8, alpha = 0.5) +

geom_smooth(method = "lm", se = FALSE,
           color = "black", linetype = "dashed") +

scale_color_manual(values = cores) +

labs(x = "Log da massa corporal (g)",

```

```
y = "Log da área da moela (mm²)",  
color = "Espécies") +
```

```
theme_classic() +  
guides(color = guide_legend(ncol = 2))
```