

Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e  
Evolução  
Universidade Federal da Bahia

**Efeitos do gradiente altitudinal na diversidade  
taxonômica, filogenética e funcional de  
assembleias de aves na Chapada Diamantina,  
Bahia**

**Maisa Teixeira Alves**

**Salvador**

**2024**

**Maisa Teixeira Alves**

**Efeitos do gradiente altitudinal na diversidade taxonômica,  
filogenética e funcional de assembleias de aves na Chapada  
Diamantina, Bahia**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biologia da Universidade Federal da Bahia para a obtenção do Título de Mestre em Biodiversidade e Evolução pelo Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução.

Orientador: Dr. Henrique Batalha Filho

Coorientador: Dr. Sidnei Sampaio dos Santos

**Salvador**

**2024**

Dados internacionais de catalogação-na-publicação  
(SIBI/UFBA/Biblioteca Universitária Reitor Macedo Costa)

Alves, Maisa Teixeira.

Efeitos do gradiente altitudinal na diversidade taxonômica, filogenética e funcional de assembleias de aves na Chapada Diamantina, Bahia / Maisa Teixeira Alves. - 2024.  
92 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Henrique Batalha Filho.

Coorientador: Prof. Dr. Sidnei Sampaio dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Instituto de Biologia, Salvador, 2024.

1. Biodiversidade - Brasil, Nordeste. 2. Biodiversidade - Conservação - Diamantina, Chapada (BA).  
3. Aves - Diamantina, Chapada (BA). 4. Aves - Efeito da temperatura. I. Batalha Filho, Henrique. II.  
Universidade Federal da Bahia. Instituto de Biologia. III. Título.

CDD - 598.098142

CDU - 598.2(813.8)

## Comissão julgadora

### **Efeitos do gradiente altitudinal na diversidade Taxonômica, filogenética e funcional de assembleias de aves na Chapada Diamantina, Bahia**


Maisa Teixeira Alves

Orientador: Dr. Henrique Batalha Filho


Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre na área de Biodiversidade e Evolução.

Aprovada por:

Em: 27 de Março de 2024.

  
Membro: Prof. Dr. Henrique Batalha Filho  
Universidade Federal da Bahia

  
Membro: Prof. Dr. Hélder Farias Pereira de Araújo  
Universidade Federal da Paraíba

  
Membro: Prof. Dr. Marcelo F. Napoli  
Universidade Federal da Bahia

Orientador: Dr. Henrique Batalha Filho

Coorientador: Dr. Sidnei Sampaio dos Santos

## Dedicatória

Dedico este trabalho a minha família,  
Em especial aos meus pais por estarem  
sempre presentes e por todo amor,  
apoio que recebi.

## Epígrafe

Assim como os pássaros, precisamos  
aprender a superar os desafios que nos  
são necessários, para alçarmos  
voos mais altos.



Dirk Wolter

## Agradecimentos

À Universidade Federal da Bahia (UFBA), Instituto de Biologia e ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Evolução (PPGBIOEVO) pela estrutura e suporte fornecida para a realização do meu mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido, que viabilizou a realização deste trabalho. Ao Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração na Chapada Diamantina, no estado da Bahia (PELD-DIAM), cujo financiamento, proveniente do CNPq e Fapesb, possibilitou a realização das campanhas de coleta de dados essenciais para o desenvolvimento do meu projeto.

Agradeço profundamente ao Professor Henrique por aceitar me orientar nesta jornada acadêmica e por seu apoio constante e orientação perspicaz. É difícil expressar em palavras o quão crucial foi sua orientação para minha formação acadêmica. Durante este período, cresci e aprendi muito com você, e sou imensamente grata por isso. Também gostaria de expressar minha gratidão ao Dr<sup>o</sup> Sidnei Sampaio por aceitar me coorientar, pelo apoio, paciência, sugestões, pelos momentos de diálogo sobre nosso projeto e resultados. Sou imensamente grata pela orientação que recebi de vocês. Meu objetivo é um dia me tornar uma profissional com a mesma empatia e dedicação que vocês demonstraram ao longo desse processo. Mesmo nos momentos que estivemos distantes, vocês estiveram sempre presentes, me ajudando a desenvolver este projeto que tanto me orgulho e que guardo com imenso carinho.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos membros do Laboratório de Biogeografia e Evolução (LEBI) da UFBA, por terem me acolhido e tornarem minha adaptação mais leve. Deixar minha cidade natal no interior da Bahia e mudar para a capital sem conhecer ninguém foi um desafio, e a presença e apoio de vocês foram fundamentais. Em particular, gostaria de agradecer à Isa, Joyce, Nathália, Cecil, Ivan, Elaine, Sidnei e Marcel por sua amizade e apoio constante.

Também gostaria de estender meus agradecimentos aos meus amigos do PPGBioEvo pelo acolhimento, conversas, apoio e momentos de descontração. Levo comigo memórias preciosas desses momentos compartilhados, especialmente com a Rayana, Rafael, Beatriz e Adrian. Não posso deixar de expressar minha gratidão especial à Rayana, Leonardo, Beatriz e Adrian por me oferecerem um lugar para ficar durante a reta final do meu mestrado, depois que retornei para minha cidade natal. Esse apoio foi essencial e sou eternamente grata a vocês por isso.

Às equipes que estiveram comigo em campo, meu profundo agradecimento por sua colaboração e dedicação.

Por fim, mas não menos importante, quero dedicar um agradecimento especial aos meus pais Maria e Amerval, minhas irmãs Katiane e Josiele e minha sobrinha Evelyn Kauane, por seu amor incondicional, apoio emocional e por serem minha fonte de inspiração. Agradeço imensamente às minhas amigas Alicia, Grazi, Nayra e Thalyan, bem como aos meus colegas da graduação, por serem pessoas incríveis que me apoiaram e incentivaram a buscar meus sonhos.

# Índice

<b>Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo Único .....</b>	<b>8</b>
Resumo .....	9
Abstract.....	10
1. Introdução .....	11
2. Material e Métodos .....	17
2.1. Área de estudo.....	17
2.2. Modelo de estudo .....	18
2.3. Amostragem da avifauna .....	19
2.4. Dados funcionais das aves .....	21
2.5. Dados filogenéticos das aves .....	21
2.6. Análise de dados .....	22
3. Resultados .....	24
4. Discussão .....	32
5. Referências bibliográficas .....	40
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>51</b>
<b>Apêndices .....</b>	<b>62</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>76</b>



## **Introdução Geral**

A biodiversidade em ambientes de alta altitude, como as montanhas, destaca-se por sua diversidade singular e notáveis adaptações às condições extremas (Fjeldså et al., 2012, Rahbek et al., 2019a). À medida que a altitude aumenta, tanto os fatores bióticos quanto os abióticos se modificam, gerando microclimas distintos que abrigam uma ampla variedade de espécies endêmicas, incluindo plantas, répteis, anfíbios, mamíferos e aves (Beniston, 2006, Rahbek et al., 2019b). Esses desafiantes ambientes promovem a evolução de adaptações extraordinárias, como a presença de folhas pequenas densamente agrupadas em plantas e sistemas respiratórios altamente eficientes em animais (Cheviron; Brumfield, 2012; Liu et al., 2020; Wang et al., 2021).

As montanhas, conhecidas por suas altitudes elevadas, apresentam notáveis particularidades, como as variações de temperatura em curtas distâncias espaciais (Barry, 2008; Cortés; Wheeler, 2018). À medida que a altitude aumenta, esses locais também revelam tendência climática distinta, caracterizada pela diminuição da temperatura e da pressão atmosférica, ao mesmo tempo em que ocorre aumento das radiações na atmosfera (Körner, 2007; Barry, 2008). Essas peculiaridades conferem singularidade a esses ambientes, criando condições propícias para o desenvolvimento de elevados níveis de diversidade e endemismos (Fjeldså et al., 2012; Cortés; Wheeler, 2018).

A competição entre espécies filogeneticamente próximas e a filtragem ambiental podem desempenhar papéis cruciais na estrutura de comunidades em ambientes de altitude (Hanz et al., 2019; Montaña-Centellas et al., 2021). Quando espécies que compartilham nichos semelhantes coexistem em uma mesma faixa altitudinal, a competição por recursos limitados, como alimento e espaço, pode se tornar intensa (Montaña-Centellas et al., 2020, Freeman et al., 2022). Isso pode levar à seleção de características que permitem a coexistência, como diferenças na dieta ou no comportamento e a exclusão competitiva de espécies menos adaptadas ao ambiente (Cavender-Bares et al., 2009; Jankowski et al., 2012; Guillaumet; Russell, 2022).

A filtragem ambiental atua como um primeiro limitador, determinando quais espécies têm as adaptações necessárias para sobreviver em altitudes específicas com condições ambientais extremas (Pavoine et al., 2011; Montaña-Centellas et al., 2021). Isso inclui características como o tipo de solo, que exclui certos grupos vegetais, e a influência da geoquímica do solo no metabolismo das plantas, resultando em uma maior produção de metabólitos secundários como defesa contra herbívoros (Antonelli et al.,

2009; Joswig et al., 2021).

No contexto dos animais vertebrados, as adversidades impostas pela elevada altitude, como temperaturas extremas e baixa concentração de oxigênio, levaram a notáveis adaptações para garantir a sobrevivência (Weber, 2007, Sun et al., 2018). Por exemplo, as aves demonstram eficiência respiratória, otimizando a extração de oxigênio e a capacidade da hemoglobina de se ligar a ele (Bicudo et al., 2010). Além disso, a exposição a temperaturas extremas pode comprometer a reprodução animal, afetando a fertilidade e a fecundidade, com implicações ecológicas significativas, incluindo uma redução na aptidão populacional e um aumento no risco de extinção (Dougherty et al., 2024). Por fim, adaptações morfológicas, ilustradas pela regra de Bergmann, parecem desempenhar um papel crucial nesse cenário. Em ambientes frios de alta altitude, os animais tendem a ter maior massa corporal (Fan et al., 2019).

Essas observações destacam a diversidade e complexidade das adaptações evolutivas que possibilitaram a sobrevivência em ambientes altitudinais desafiadores (Laiolo; Obeso, 2017; Sun et al., 2018). Apenas as espécies que se encaixam nesses nichos ecológicos particulares conseguem persistir em determinadas altitudes (Kraft et al., 2008, Levine et al., 2017).

As aves oferecem uma perspectiva valiosa para investigar como a competição e a filtragem ambiental influenciam comunidades biológicas em diferentes altitudes (Cavender-Bares et al., 2009, Montaña-Centellas et al., 2021). Em ambientes de montanha, as comunidades de aves exibem riqueza de espécies e adaptações notáveis, incluindo espécies endêmicas e adaptadas a nichos específicos em altitudes variadas (Fjeldsø et al., 2012; Rahbek et al., 2019b).

À medida que se move para cima na montanha, a composição das espécies de aves pode mudar notavelmente, refletindo como diferenças nas condições ambientais moldam as comunidades biológicas (Rahbek et al., 2005; McCain et al., 2009). Estudos com comunidades de aves nesses ambientes não apenas fornecem informações sobre a diversidade da vida selvagem sob seleção do ambiente, mas também ajudam a compreender como os efeitos das mudanças climáticas impactam as populações de aves e, consequentemente na conservação de ecossistemas de montanha vulneráveis (Şekercioğlu et al., 2012; Quintero e Jetz 2018).

Compreender os efeitos das mudanças climáticas e impacto de modificações resultantes da ação humana nas comunidades biológicas de ambientes de montanhas é de extrema relevância, pois são regiões vulneráveis, frágeis e com elevadas taxas de

endemismo, e dados sobre as comunidades podem fornecer informações sobre o estado de conservação do ambiente (Beniston, 2003; 2005; Martinelli, 2007; Ramírez-Albores et al., 2014). Neste sentido, estudos que buscam compreender a diversidade alfa (escala local), beta (entre locais) e gama (escala regional) são necessários e relevantes para avaliar os efeitos das ações antrópicas sobre a biodiversidade (Whittaker, 1960; 1972).

A diversidade alfa é a medida da variedade de espécies em um habitat específico ou em uma área local, que reflete a influência de fatores bióticos e abióticos na comunidade biológica local (Whittaker, 1972; Cain et al., 2017). Em outras palavras, indica a quantidade de espécies coexistindo em um determinado local, sem considerar outras áreas próximas (Cavender-Bares et al., 2009; Magurran, 2021). Em montanhas a diversidade alfa de espécies geralmente é maior em altitudes mais baixas devido a condições ambientais estáveis, como temperaturas mais quentes e maior disponibilidade de água e nutrientes (McCain, 2009; Quintero; Jetz, 2018).

Já a diversidade beta é uma medida da diferença na composição de espécies entre diferentes áreas ou habitats próximos, e pode refletir a influência dos fatores históricos, geográficos e ambientais na distribuição de espécies entre habitats (Whittaker, 1960; 1972). A diversidade beta é uma métrica fundamental no estudo da biodiversidade, já que uma elevada diversidade beta sugere uma grande dissimilaridade na composição de espécies entre diferentes habitats (Meynard et al., 2011, Baselga, 2012). Na diversidade beta, um dos fenômenos que ocorre é o *turnover* (mudança na composição das espécies), que apresenta uma tendência de aumentar suas taxas em gradientes altitudinais (Baselga, 2010; Anderson et al., 2011, Wang et al., 2012). Possíveis explicações para esses efeitos estão na história evolutiva e na estrutura da vegetação das áreas de altitude, que oferecem uma gama de nichos e habitats que favorecem os altos índices de turnover encontrados nesses ambientes (Li et al., 2019; Martin et al., 2021).

Por outro lado, a diversidade gama é a diversidade total em uma região ou área, incluindo todas as espécies que podem ser encontradas naquela área, e é medida pela contagem do número total de espécies presentes em uma região ou área e pode ser usada para comparar a diversidade entre diferentes regiões ou áreas (Whittaker, 1960; 1972). A diversidade gama é influenciada por fatores como o tamanho da área, a heterogeneidade ambiental e a história evolutiva da região, entre outros, sendo uma medida importante para entender a biodiversidade em uma escala mais ampla e pode ser usada para informar estratégias de conservação e manejo de espécies e habitats (Magurran, 2021, Quintero; Jetz, 2018).

Por muito tempo estudos que exploraram a diversidade alfa, beta e gama em diversas regiões do planeta se concentraram apenas nas métricas de diversidade taxonômica, ignorando os aspectos evolutivos e funcionais das comunidades (Devictor et al., 2010). No entanto, foram desenvolvidas outras abordagens, como os métodos para avaliar a diversidade filogenética (PD) (Faith 1992) e funcional (FD) (Petchey; Gaston, 2002). Atualmente os estudos sobre comunidades biológicas buscam ampliar as abordagens e explorar a diversidade por meio de diferentes métricas, como a diversidade taxonômica, filogenética e funcional (e.g. Graham; Fine, 2008; Meynard et al., 2011; Purschke et al., 2013).

A diversidade filogenética avalia a diversidade e a composição das comunidades com base nas relações evolutivas entre as espécies (Faith, 1992; Webb et al., 2002). A análise dessa medida é baseada na soma dos comprimentos dos ramos da árvore filogenética de uma determinada comunidade (Faith, 1992; Tucker et al., 2017). Por outro lado, a diversidade funcional estima a diversidade e as diferenças entre as comunidades com base em atributos funcionais das espécies (Villéger et al., 2008; Cianciaruso et al., 2009). Essa métrica pode ser analisada pela soma dos comprimentos totais dos ramos de um dendrograma funcional (Petchey; Gaston, 2002).

Para a análise dessas medidas de diversidade existem índices que são dependentes e independentes da riqueza de espécies. Índices independentes podem capturar em comunidades com baixa riqueza de espécies valores altos de diversidade filogenética e funcional, sem exibir influência da diversidade taxonômica (Tucker et al., 2017; Magurran, 2021). Considerar ambos possibilita ampliar a compreensão de como os processos ecológicos e evolutivos moldaram a comunidade de uma determinada área (Tilman, 2001; Ricotta, 2005).

Devido às mudanças em pequenas escalas no gradiente altitudinal das montanhas e à adaptação restrita de muitas espécies a esses ambientes, a diversidade alfa pode ser utilizada para avaliar como a altitude e as variáveis ambientais afetam a composição das comunidades biológicas e de que forma as mudanças nesses ambientes podem impactar a sua diversidade (Cortés; Wheeler, 2018). A análise de diferentes métricas nesses gradientes permite desvendar a importância de diferentes aspectos ecológicos e evolutivos na origem e manutenção da biodiversidade (Rahbek, 2005; Quintero; Jetz, 2018).

Estudos recentes têm desafiado a antiga crença de que os ambientes de montanhas possuem baixa diversidade, com um padrão geral de decréscimo da riqueza de espécies à

medida que a altitude aumenta (McCain, 2009; McCain; Grytnes, 2010; Montaña-Centellas et al., 2021). Pesquisas que utilizaram métricas de diversidade taxonômica, filogenética e funcional têm encontrado diferentes padrões, como platô de baixa elevação, pico de altitude média e aumento de diversidade com a altitude, ao longo de gradientes altitudinais, por exemplo, com aves (McCain, 2009; Meynard et al., 2011; Montaña-Centellas et al., 2020). Os fatores ambientais, como temperatura, estrutura da vegetação e solo, têm sido correlacionados com os padrões de diversidade encontrados nessas áreas de montanha (Cavarzere; Silveira, 2012; Hanz et al., 2019; Montaña-Centellas et al., 2021).

A temperatura pode impor restrições fisiológicas para algumas espécies, limitando-as a ambientes com temperaturas dentro de sua faixa de tolerância, o que permite que apenas algumas linhagens colonizem ambientes com temperaturas extremas (Cavender-Bares et al., 2009; Rahbek et al., 2019a). A estrutura da vegetação também pode limitar a ocorrência de determinadas linhagens a certos tipos de vegetação devido a dependência de recursos alimentares, locais de refúgio, nidificação, descanso e forrageio específicos (Macarthur; Macarthur, 1961; Terborgh, 1977; Walther, 2002). Por outro lado, a disponibilidade de diferentes tipos de nicho pode favorecer a diversidade taxonômica e funcional, permitindo que espécies de diferentes nichos ocupem o ambiente (Loiselle; Blake, 1991; Dehling et al., 2014; Sam et al., 2019). Embora o solo não afete diretamente as aves, ele pode influenciar diretamente a vegetação, limitando os recursos e interferindo na cadeia alimentar, afetando assim o grupo de maneira indireta (Fjeldsø, 2018; Rahbek et al., 2019b).

Quando se aborda a biodiversidade em ecossistemas de elevada altitude, é imprescindível fazer menção à cadeia do Espinhaço, uma área de relevante destaque localizada nos estados brasileiros de Minas Gerais e Bahia (Fernandes et al., 2016). Com extensão aproximada de 1.200 km a Cadeia do Espinhaço possui formações típicas de Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Campos Rupestres (Rapini et al., 2008). A importância da Cadeia do Espinhaço na conservação da biodiversidade é evidente, abrigando uma diversidade única de espécies vegetais e animais, muitas das quais são endêmicas e adaptadas às condições específicas desses ecossistemas únicos (Rapini et al., 2008; Fernandes et al., 2016).

A Chapada Diamantina, localizada na região semiárida do Nordeste do Brasil, é a extensão ao norte das cordilheiras da Serra do Espinhaço, abrangendo uma área de cerca de 100.000 km<sup>2</sup>, representando aproximadamente 20% do estado da Bahia (Jesus, 1985;

Rocha et al., 2005). Abriga diversidade de paisagens que inclui campos rupestres, cerrado, florestas e caatinga, com vegetação variando de florestas secas a cerrados (Parrini et al., 1999). Essa área é de grande importância para a biodiversidade, com diversas espécies endêmicas, algumas ameaçadas de extinção, e desempenha papel fundamental na conservação da flora e fauna brasileira, especialmente no bioma Caatinga (de Queiroz et al., 2017; Garda et al., 2018).

Considerando a importância dos gradientes altitudinais, foi aprovado pelo CNPq em 2020 um programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) na região da Chapada Diamantina no estado da Bahia (PELD-DIAM), com o título “Biodiversidade nas montanhas: desvendando padrões e processos ecológicos e evolutivos da biota da Chapada Diamantina”. O objetivo deste PELD é investigar como as mudanças climáticas afetam os aspectos ecológicos e evolutivos das comunidades biológicas de peixes, anfíbios, lagartos, aves, mamíferos e angiospermas ao longo de um gradiente altitudinal.

A presente dissertação está inserida no PELD-DIAM, no qual fomos responsáveis pelo estudo do grupo das aves. As aves constituem um bom modelo para avaliar os efeitos da elevação no gradiente altitudinal nessa área, considerando sua destacada capacidade como indicadores ecológicos para avaliar os impactos das mudanças climáticas no funcionamento dos ecossistemas (Chowfin et al., 2021). A habilidade das aves em reagir prontamente às variações ambientais as posiciona como sinalizadoras cruciais das condições ecológicas sob impacto antrópico (Christina et al., 2023). Além disso, as aves desempenham um papel relevante ao fornecer valiosos serviços ecossistêmicos, como polinização, dispersão de sementes, controle de pragas e reciclagem de nutrientes (Mariyappan et al., 2023). Destaca-se ainda o papel fundamental das aves na conservação da biodiversidade, especialmente devido à presença de muitas espécies endêmicas, raras ou ameaçadas de extinção (Jetz et al., 2008).

A avifauna da Chapada Diamantina compreende espécies representantes de diferentes ecossistemas: Caatinga, Campos Rupestres, Cerrado e Mata Atlântica (Parrini et al., 1999), sendo os dois últimos considerados *hotspots* mundiais de biodiversidade (Myers et al., 2000). Apesar de ser um ambiente muito diverso, os estudos realizados até o momento não buscaram compreender as mudanças na diversidade de aves no gradiente altitudinal e quais fatores ambientais influenciam a diversidade taxonômica, filogenética e funcional, como apontado por Schunck e colaboradores (2023). A compreensão dos padrões de diversidade da avifauna ao longo deste gradiente pode auxiliar a entender como as mudanças climáticas afetam as comunidades em áreas de montanha sul-

americana e auxiliar nas ações que visam a proteção desses ambientes (Santillán et al., 2020).

Assim, este trabalho teve por objetivo analisar a diversidade taxonômica, filogenética e funcional de assembleias de aves ao longo de um gradiente altitudinal na Chapada Diamantina, Bahia. Mais especificamente, investigamos o papel de determinantes bióticos e abióticos na variação da diversidade alfa (taxonômica, filogenética e funcional) da avifauna ao longo de um gradiente altitudinal na Chapada Diamantina. Para isso buscamos responder duas perguntas: (i) Qual o padrão diversidade alfa (taxonômica, filogenética e funcional) da avifauna ao longo de um gradiente altitudinal na Chapada Diamantina-Ba? (ii) Quais variáveis ambientais estão correlacionadas à diversidade de aves ao longo do gradiente de altitude?

## Capítulo único

Título: Determinantes da diversidade taxonômica, funcional e filogenética de assembleias de Aves em um gradiente de altitude na região Neotropical

Autores: Maisa Teixeira Alves, Sidnei Sampaio dos Santos, Thiago Nascimento Zanetti, Marcel Silva Lemos e Henrique Batalha-Filho

A ser submetido para Biodiversity and Conservation (**ISSN: 1572-9710**)



## Resumo

Altitude figura entre as principais variáveis ecológicas que influenciam padrões de variação da diversidade biológica. Neste estudo analisamos os padrões de diversidade alfa taxonômica filogenética e funcional de assembleias de aves ao longo de um gradiente altitudinal na Chapada Diamantina, porção norte da Serra do Espinhaço. A amostragem foi realizada em cinco cotas de altitude, com três réplicas cada, totalizando 15 pontos amostrais: 400-500 m, 600-700 m, 800-900 m, 1000-1100 m e 1200-1300 m. Em cada unidade amostral as aves foram inventariadas usando redes de neblina e pontos de escuta. O padrão da relação entre diversidade e altitude foi investigado por meio de regressão linear. As relações entre diversidade e variáveis ambientais preditoras (temperatura, radiação solar e heterogeneidade de hábitat) foram analisadas com Modelos Lineares Generalizados (MLG). Registramos 162 espécies de aves distribuídas em 43 famílias. A cota 400-500 apresentou maior riqueza (104 espécies), seguida das cotas 600-700 (99 espécies), cota 800-900 (82 espécies), cota 1000-1100 (76 espécies). A cota 1200-1300 apresentou menor riqueza (51 espécies). Encontramos um resultado significativo de decréscimo dos índices Riqueza ( $R^2$  0.76,  $p < .001$ ), PD ( $R^2$  0.607,  $p < .001$ ), FRic ( $R^2$  0.319,  $p < .001$ ) e FDiv ( $R^2$  0.541,  $p < .001$ ), entretanto, o índice MNTD ( $R^2$  0.566,  $p < .001$ ) revelou uma relação positiva com a altitude. Temperatura média anual exibiu efeito significativo com os índices de diversidade ao longo do gradiente. A maior diversidade filogenética em altitudes elevadas e a influência significativa da temperatura nos padrões de diversidade ressaltam a importância do clima para as comunidades de aves em cadeias de montanhas do leste sul americano. Isso destaca a possível sensibilidade dessas comunidades às mudanças climáticas e aos potenciais impactos decorrentes.

Palavras-chave: Diversidade alfa, Comunidade, Chapada Diamantina, Serra do Espinhaço, Temperatura.

## Abstract

Altitude is a key ecological factor that shapes the patterns of biological diversity. In this study, we analyzed the patterns of taxonomic, phylogenetic, and functional alpha diversity of bird assemblages across an altitudinal gradient in the Chapada Diamantina at eastern Brazil. The sampling was carried out at five levels of altitude with three replicates per level, covering 15 sampling points in total: 400-500 m, 600-700 m, 800-900 m, 1000-1100 m and 1200-1300 m. Bird assemblages were gathered using mist nets and point counts at each altitudinal level. The relationship between altitude and bird diversity (taxonomic, phylogenetic and functional) was obtained using linear regression. We also analyzed the relationship between species diversity and environmental variables (temperature, precipitation, solar radiation, wind speed, water vapor and habitat heterogeneity) were analyzed using Generalized Linear Models (GLMs). A total of 162 bird species were recorded, distributed over 43 families. The 400-500 m level showed the highest richness (104 species), followed by the 600-700 m range (99 species), 800-900 m range (82 species), and 1000-1100 range (76 species). The 1200-1300 level showed the lower species richness (51 species). We found a significant decrease in richness ( $R^2$  0.76,  $p < .001$ ), PD (phylogenetic diversity) ( $R^2$  0.607,  $p < .001$ ), FRic (functional richness) ( $R^2$  0.319,  $p < .001$ ), and FDiv (functional divergence) ( $R^2$  0.541,  $p < .001$ ) indices with altitude; however, the MNTD (mean nearest taxon phylogenetic distance) index ( $R^2$  0.566,  $p < .001$ ) revealed a positive relationship with altitude. Mean annual temperature exhibited a significant effect on diversity indices along the gradient. The higher phylogenetic diversity at higher altitudes and the significant influence of temperature on diversity patterns underscore the importance of climate for bird communities in such environments. This highlights the sensitivity of these communities to climate change and the potential impacts thereof.

Keywords: Alpha diversity, Community, Temperature, Chapada Diamantina, Serra do Espinhaço.

## 1. Introdução

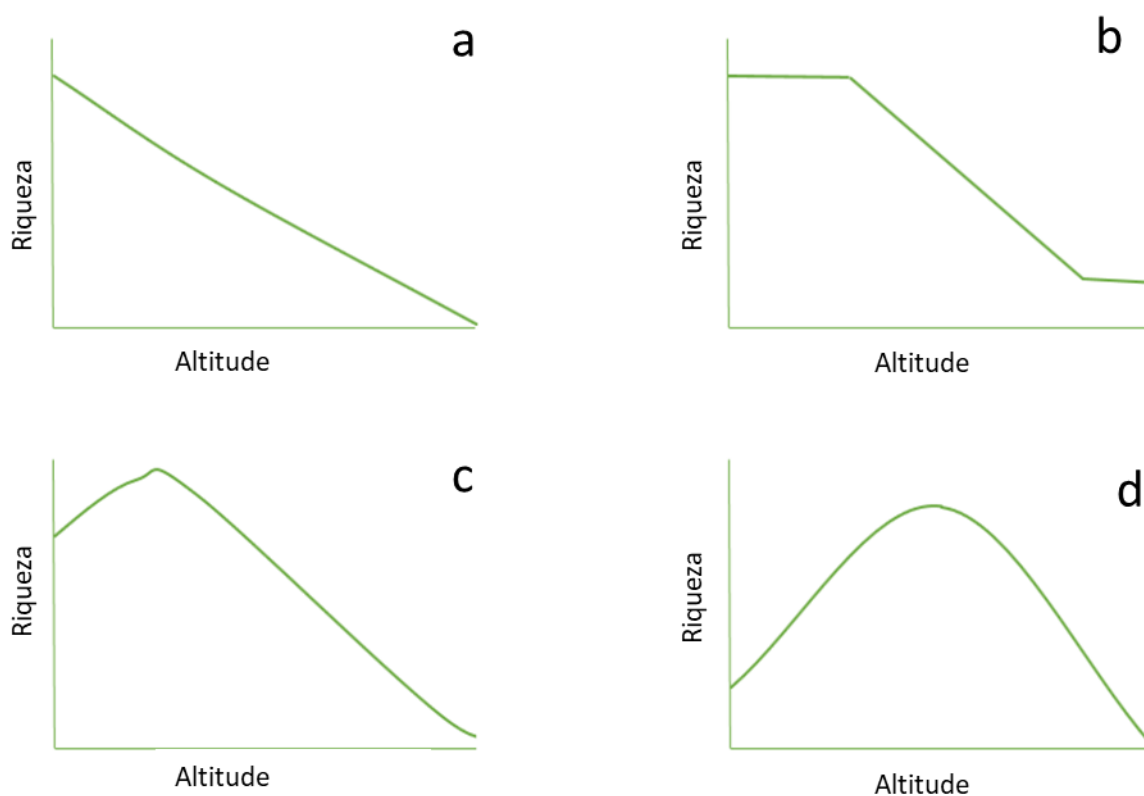
Os gradientes altitudinais cobrem aproximadamente 25% da área terrestre do planeta e desempenham papel crucial na biodiversidade global, especialmente nos trópicos, onde abrigam hotspots de riqueza extraordinária (Rahbek et al. 2019b). Pelo menos 85% da riqueza global de anfíbios, aves e mamíferos, habitam ambientes de montanhas, onde muitas são exclusivas (Rahbek et al. 2019a). Isso destaca a importância da conservação desses ecossistemas para a biodiversidade, além de serem ambientes únicos e altamente heterogêneos em uma pequena escala espacial, tornando-as ideais para estudos de diversidade alfa, com condições ambientais específicas variando com a altitude (Körner 2003, 2004).

Por muito tempo, acreditou-se no padrão simplista de declínio da diversidade em ambientes de montanhas com o aumento da altitude. No entanto, pesquisas recentes desafiam essa visão, evidenciando considerável heterogeneidade nos padrões de diversidade (McCain e Grytnes 2010; Cavarzere e Silveira 2012; Montaña-Centellas et al. 2020; Santillán et al. 2020; Cavarzere et al. 2021). A relação entre altitude e diversidade revela uma complexidade que pode ser influenciada por fatores ambientais (bióticos e abióticos) em diferentes escalas globais e regionais (McCain 2009; Rahbek et al. 2019a; Perrigo et al. 2020).

Em uma escala global, as mudanças na riqueza de espécies ao longo de gradientes altitudinais podem ser identificadas em pelo menos quatro padrões principais: (1) diminuição linear, (2) platô de baixa elevação seguido por declínio acentuado, (3) platô de baixa elevação com pico de elevação média, nas regiões de baixa elevação, e (4) pico unimodal de altitude média (Fig. 1). Os dois primeiros padrões (diminuição linear e platô

de baixa elevação) têm sido registrados com maior frequência na região tropical, enquanto os outros dois (platô de baixa elevação com pico de elevação média e pico unimodal de altitude média) em regiões temperadas (McCain 2009).

Para as regiões tropicais a temperatura está fortemente associada aos padrões de mudança de riqueza de espécies ao longo de gradientes altitudinais, enquanto a precipitação aparece como a variável de maior poder preditivo em regiões temperadas (McCain 2009). Diversas hipóteses foram propostas para explicar os padrões globais de riqueza de espécies e também se aplicam aos padrões de riqueza em ambientes de altitude, entre elas as hipóteses climáticas se destacam (McCain 2009; McCain e Grytnes 2010).



Adaptado (McCain e Grytnes, 2010)

**Fig. 1** Padrões esperados para a riqueza de espécies em relação a altitude. (a) diminuição linear: caracterizada pela riqueza de espécies diminuindo a medida que a altitude aumenta; (b) platô de baixa elevação seguido por um declínio acentuado: neste padrão a riqueza biológica atinge níveis elevados em

altitudes baixas, mantendo-se em um patamar relativamente constante, sofrendo declínio em altitudes mais altas, atingindo outro patamar e se estabilizando de maneira constante; (c) platô de baixa elevação com um pico de elevação média: as regiões de baixa elevação, é marcado pela riqueza biológica mantendo-se em um nível constante, este platô inicial é sucedido por um aumento da riqueza em áreas de elevação média, com um pico na riqueza, no entanto à medida que a altitude aumenta ocorre um declínio na riqueza e (d) pico unimodal de altitude média: neste padrão, verifica-se um aumento notável da riqueza biológica até atingir as áreas de altitudes médias, culminando em um pico expressivo, no entanto, após esse pico, observa-se o declínio progressivo da riqueza à medida que a altitude continua a aumentar

As hipóteses climáticas consideram as limitações impostas pelos fatores do clima (e.g. temperatura e precipitação) nos limites fisiológicos das espécies e à produtividade de seus habitats (Hoorn et al. 2018). Diversos estudos indicaram correlação positiva entre a diversidade de espécies de aves e a temperatura, evidenciando um padrão de redução da riqueza à medida que a altitude aumenta, associada à diminuição da temperatura (McCain e Grytnes 2010; Montaña-Centellas et al. 2020; Santillán et al. 2020).

A riqueza está positivamente relacionada à precipitação e a produtividade, seguindo padrões similares aos da temperatura (Hawkins et al. 2003; Bohdalková et al. 2021). A precipitação é crucial para a distribuição das plantas, influenciando a diversidade vegetal, enquanto seu impacto indireto afeta a disponibilidade de recursos para animais terrestres (Körner 2003; Antonelli et al. 2018). A relação positiva entre diversidade e produtividade decorre da capacidade de áreas mais produtivas sustentarem mais indivíduos, suportando maior variedade e quantidade de espécies na comunidade (Srivastava e Lawton 1998; Barreto et al. 2021).

Além dessas variáveis, existem outras relacionadas ao clima que são utilizadas para avaliar a montagem das comunidades nos ambientes de montanhas, como a radiação solar (Huertas e Díaz 2001; Kessler et al. 2001; Carrascal e Díaz 2006). Estudos têm encontrado relação positiva entre riqueza de espécies e radiação solar. Isso se deve, em

parte, ao papel da radiação solar na redução dos gastos energéticos das espécies, especialmente devido à necessidade de regulação térmica em ambientes montanhosos (Repasky 1991; Wachob 1996; Huertas e Díaz 2001).

Outras variáveis ambientais não relacionadas ao clima também são utilizadas para testar hipóteses nesse contexto, como a heterogeneidade do habitat (Ruggiero e Hawkins 2008). Esta hipótese, intimamente relacionada aos processos biológicos, postula que habitats complexos têm a capacidade de sustentar diversidade maior de espécies, porque favorecem a coexistência de organismos que ocupam nichos distintos dentro da mesma área (Terborgh 1977). O índice de rugosidade tem sido utilizado para capturar parte dessa complexidade do habitat (Ghimire et al. 2021). Estudos têm apontado que quanto maior a rugosidade topográfica, mais heterogêneo é o ambiente, o que tende a aumentar a riqueza de espécies uma vez que fornece diferentes micro-habitats dentro de uma mesma área (Willson 1974, Terborgh 1977, Ghimire et al. 2021).

Outra variável ambiental que também tem sido utilizada em estudos em gradientes altitudinais é a produtividade primária e tem sido apontado na literatura como positivamente relacionadas a riqueza de espécies (Hurlbert e Haskell 2003; Pan et al. 2016; Leveau et al. 2020). O NDVI, que é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, destaca-se como um dos índices vegetacionais empregados para indicar tanto a produtividade primária quanto da distribuição da vegetação (Pettorelli et al. 2006, 2011). Essa conexão encontra relação com a hipótese da diversidade energética, que postula que um incremento na disponibilidade de recursos promove maior riqueza de espécies (MacArthur e MacArthur 1961; Wright 1983; MacArthur 1984).

A diversidade alfa é uma das métricas utilizadas em estudos com comunidades biológicas e é considerada importante medida para testar hipóteses ambientais e compreender padrões em escala local em comunidades biológicas (e.g. Fernandes 2016;

Cavarzere et al. 2021; Cavarzere et al. 2022). Tal diversidade reflete a adaptação das espécies aos aspectos bióticos e abióticos do ambiente em que estão inseridas (Whittaker 1972), tendo em vista que diversos fatores podem influenciar a diversidade de espécies em escala local, como aspectos fisiológicos, interações entre espécies, processos estocásticos e a filtragem ambiental (Cavender-Bares et al. 2009). Informações provenientes de estudos de comunidades que utilizam diversidade alfa podem contribuir para a criação de estratégias que visam proteger as comunidades biológicas, mostrando quais mudanças na composição de espécies podem alterar o funcionamento do ecossistema e alertar sobre a necessidade de intervenções que visem a reestruturação do mesmo (Magurran 2021).

Durante muito tempo os estudos ecológicos a nível de diversidade alfa consideravam apenas a diversidade taxonômica, que é contabilizada apenas pelo número de espécies que ocorrem em uma determinada área. Mais especificamente, todas as espécies são iguais e sua abundância relativa determina sua importância no ecossistema, independentemente de seu tamanho e peso (Magurran 2005). Entretanto, essa métrica não considera os aspectos ecológicos e evolutivos das espécies. Assim, buscando incorporar estes aspectos, foram propostas métricas de diversidade funcional e filogenética (Faith 1992; Petchey e Gaston 2002). Incluir essas abordagens possibilita compreender como os processos ecológicos e evolutivos moldaram a comunidade de uma determinada área de forma mais abrangente (Tilman 2001; Ricotta 2005).

As diversidades filogenética e funcional oferecem informações complementares à diversidade taxonômica (Cianciaruso 2009). A diversidade filogenética recupera as relações evolutivas entre as espécies (Faith 1992), revelando a história evolutiva da comunidade, enquanto a diversidade funcional acessa as características funcionais das espécies e como elas afetam o funcionamento do ecossistema (Petchey e Gaston 2002).

Portanto, a combinação de diferentes medidas de diversidade pode fornecer uma visão mais acurada da diversidade biológica em um ecossistema, pois incorpora processos ecológicos e evolutivos, além de auxiliar na tomada de decisões sobre sua conservação, manejo e o desenvolvimento de estratégias de conservação mais eficazes (Cianciaruso 2009).

Estudos recentes em gradientes altitudinais têm explorado essas métricas de diversidade taxonômica, funcional e filogenética, buscando compreender como as diferentes facetas de diversidade refletem os padrões de diversidade e complexidade da área de estudo (e.g. Dehling et al. 2014; Jarzyna et al. 2021; Lin et al. 2024). Além das hipóteses climáticas, fatores como especiação, extinção e relações ecológicas são utilizados para explicar os padrões de diversidade em gradientes altitudinais, embora testá-los seja desafiador devido à sua complexidade (McCain e Grytnes 2010). Ao longo do gradiente, diferentes fatores influenciam a diversidade de maneira específica (MacArthur e MacArthur 1961; Ding et al. 2021). Por exemplo, a complexidade do habitat aumenta a diversidade taxonômica e funcional, enquanto a limitação de recursos em altitudes elevadas pode reduzir a riqueza filogenética, mas aumentar a diversidade filogenética (Montaño-Centellas et al. 2020, Montaño-Centellas et al. 2021).

Maior viabilidade de testar hipóteses climáticas, escassez de estudos abrangendo aspectos da diversidade (taxonômica, filogenética e funcional) em gradientes altitudinais nas regiões neotropicais, especialmente nas cadeias de montanhas do leste sul-americano e a necessidade de avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a diversidade biológica tornam os estudos em montanhas relevantes e urgentes. Neste estudo, investigamos a variação nos padrões de diversidade de espécies de aves ao longo de um gradiente altitudinal na Chapada Diamantina, situada na porção norte da Cadeia do Espinhaço na região leste do Brasil.



De forma específica, analisamos os padrões de diversidade taxonômica, filogenética e funcional em assembleias de aves ao longo de um gradiente altitudinal na Chapada Diamantina (400-1300m). Nós especificamente analisamos os padrões de diversidade em relação a altitude e o papel de determinantes bióticos e abióticos na variação da diversidade alfa (taxonômica, filogenética e funcional) da avifauna. Nós testamos as seguintes hipóteses: (i) a diversidade alfa taxonômica e funcional seguirá um padrão de diminuição linear ou padrão de platô de baixa elevação seguido por um declínio acentuado, padrões esperados para a região tropical (McCain e Grytnes, 2010). Em regiões tropicais esses padrões estão relacionados ao aumento da altitude, redução da área disponível, diminuição da disponibilidade de recursos, condições ambientais mais extremas e o maior isolamento de habitats em altitudes mais altas (McCain, 2009). (ii) a diversidade alfa filogenética será maior em áreas de topo de montanha (Campos Rupestres). A limitação de recursos em altitudes elevadas pode levar à competição entre espécies próximas filogeneticamente, o que pode aumentar as distâncias filogenéticas entre as espécies presentes nas assembleias de terras altas (Montaño-Centellas et al. 2020); (iii) Os padrões de diversidade encontradas estarão correlacionados as variáveis abióticas relacionadas ao clima atual, como temperatura, precipitação e vegetação, já que podem impor restrições à distribuição das espécies quando não estão dentro dos limites fisiológicos tolerados (McCain e Grytnes, 2010; Santillán et al. 2020).

## **2. Metodologia**

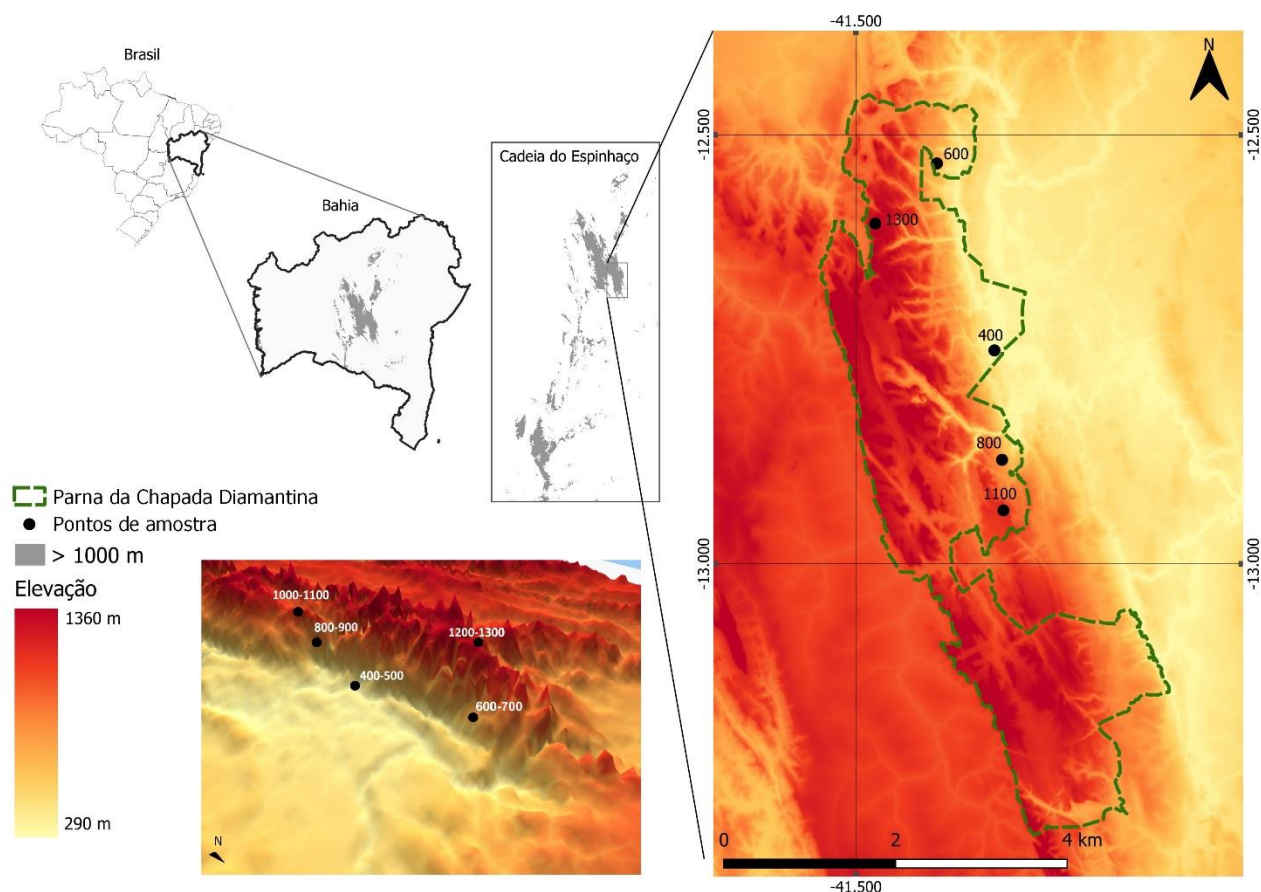
### *2.1. Área de estudo*

A área do estudo está situada no Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNPD) no estado da Bahia, que é uma unidade de conservação federal com cerca de 152 mil hectares. A vegetação da região é caracterizada pela presença de formações típicas de Cerrado, Campos Rupestres, Caatinga e Mata Atlântica (Fig. 2). Essa região foi apontada

como área de interesse para estudos em gradientes de altitude no Brasil, devido a sua importância biológica e à carência de estudos que investiguem os efeitos do gradiente altitudinal nessa região, especialmente no que diz respeito à diversidade funcional e filogenética das aves (Schunck et al. 2023).

## *2.2. Modelo de estudo*

As aves, por ocuparem diversos nichos e habitats em gradientes altitudinais, tornam-se um grupo modelo valioso para compreender as forças ecológicas e evolutivas na diversidade (Sekercioglu et al. 2008). Uma revisão de estudos sobre aves em gradientes altitudinais no Brasil evidenciou escassez e falta de padronização, especialmente no sul e sudeste do país (Schunck et al. 2023). Um estudo prévio na Cadeia do Espinhaço apontou redução na riqueza com a altitude, mas não abordou diversidade funcional e filogenética, excluindo a Chapada Diamantina (Fernandes et al. 2016). Estudos em gradientes altitudinais proporcionam oportunidade única para compreender como fatores abióticos moldam a distribuição, ecologia e comportamento das aves, contribuindo para identificar respostas potenciais às mudanças climáticas e ao aquecimento global em áreas montanhosas (McCain 2009).



**Fig. 2** Mapa da área de estudo na região da Chapada Diamantina- Ba, onde é possível observar a localização geográfica e altitudinal das cinco cotas altitudinais. Em verde a delimitação da área do Parna da Chapada Diamantina, os pontos em preto indicam as áreas de amostragem

### 2.3. Amostragem da avifauna

A avifauna foi amostrada ao longo de gradiente altitudinal no PNPD, compreendendo cinco cotas altitudinais variando de 400 a 1300 m: 400-500 m, 600-700 m, 800-900 m, 1000-1100 m e 1200-1300 m (figura 2). As cotas estão localizadas nos municípios de Andaraí, Lençóis, Mucugê e Palmeiras e são caracterizadas por diferentes tipos de vegetação (tabela 1).

**Tabela 1** Informações sobre a localidade e o tipo de vegetação em cada cota altitudinal amostrada no Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil

<b>Cota altitudinal</b>	<b>Localidade</b>	<b>Tipo de vegetação</b>
<b>400-500 m</b>	Andaraí	Mata Atlântica
<b>600-700 m</b>	Lençóis	Ponto 1- Mata Atlântica Pontos 2 e 3- Campo Rupestre
<b>800-900 m</b>	Andaraí/Igatú	Campo Rupestre
<b>1000-1100 m</b>	Mucugê	Campo Rupestre
<b>1200-1300 m</b>	Palmeiras/Vale do Capão	Campo Rupestre

As coletas foram realizadas em três campanhas, duas durante o período seco e uma no período chuvoso. A primeira campanha ocorreu entre os dias 4 a 19 de julho de 2022, a segunda entre 07 a 25 de janeiro de 2023 e última entre 13 a 30 de agosto 2023.

Para amostragem das aves aplicamos dois métodos: captura com redes de neblina e pontos de escuta (Bibby 2004). Esses métodos atuam de forma complementar, oferecendo uma representação mais abrangente da composição da comunidade. As redes de neblina foram instaladas em cada cota em três linhas (réplicas) com 10 redes em cada, distantes entre si 1 km, totalizando 30 redes por cota altitudinal. A amostragem com redes iniciou às 05 h e perdurou até as 11 h, que equivale a um esforço amostral de 72.900 m<sup>2</sup> /h por campanha. Os pontos de escuta seguiram o delineamento de 10 minutos de observação, sendo cinco pontos amostrados em cada réplica de rede por campanha, totalizando 15 pontos por cota altitudinal. Em cada réplica os pontos são equidistantes pelo menos 200 m e cada conjunto de pontos por cota dista pelo menos 1 km entre si. Os registros visuais e sonoros foram considerados dentro de um raio de 50 m e as observações iniciaram com as primeiras atividades das aves no período matutino (Blake 1992).

#### *2.4. Dados funcionais das aves*

Para obtenção dos dados funcionais das espécies registradas utilizamos traços funcionais disponíveis na base de dados AVONET (<https://opentraits.org/datasets/avonet.html>), que fornece 11 traços morfológicos distintos, abrangendo quatro medidas do bico, que incluem: o comprimento da ponta ao crânio ao longo do cúlmen, o comprimento da ponta até a borda anterior das narinas, a profundidade e a largura do bico. Além disso, inclui três medidas relacionadas às asas: o comprimento total da asa (medido da articulação do carpo até a ponta da asa na asa não achatada), o comprimento secundário da articulação do carpo até a ponta da pena secundária mais externa e a Distância de Kipp (calculada como o comprimento total da asa menos o comprimento da primeira pena secundária). O parâmetro também inclui o comprimento do tarso e da cauda, juntamente com a massa corporal e o índice mão-asa. (Tobias et al. 2022). Essas medidas fornecem informações relativas ao nicho ecológico, como as espécies se movem no ambiente e buscam os seus recursos (Tobias et al. 2022).

### 2.5. *Dados filogenéticos das aves*

As relações filogenéticas entre as espécies amostradas, para estimativas da diversidade filogenética, foram obtidas por meio da filogenia completa para as espécies de aves disponível no banco de dados BirdTree (<https://birdtree.org/>). Para construir a filogenia, realizamos uma revisão da nomenclatura das espécies registradas, a fim de garantir a precisão das informações. Posteriormente, baixamos 1000 árvores filogenéticas utilizando o conjunto de dados "Ericson All Species", cada uma contendo 9.993 Unidades Taxonômicas Operacionais (OTUs), proporcionando uma maior robustez na recuperação das relações de parentesco (Jetz et al. 2012). Após isso construímos uma árvore de consenso, que foi obtida a partir da função `consensus.edge` do pacote `phytools` (Revell 2012), utilizando o método "mean-edge" no ambiente R (R Core Team, 2023).

### 2.6. *Análise de dados*

Para avaliar a efetividade amostral na captura da diversidade biológica, utilizamos a curva de rarefação. Para isso separamos os dados de amostragem por cota, uma vez que estamos investigando a diversidade alfa. A aplicação da rarefação permite estimar a diversidade esperada em níveis comparáveis de amostragem (Colwell et al. 2012). Essa abordagem permite avaliar se a nossa amostragem é capaz de capturar a riqueza extrapolada (Chao e Jost 2012). A análise da curva de rarefação foi realizada por meio do pacote “iNEXT.3d” version 1.0.1 (Hsieh et al. 2016) no ambiente R (R Core Team 2023).

Para investigar os padrões de diversidade alfa taxonômica, filogenética e funcional em relação a altitude, aplicamos a regressão linear com a função ‘lm’ no ambiente R (R Core Team 2023). A altitude considerada no modelo corresponde ao valor para cada replica de rede. Para a diversidade taxonômica alfa utilizamos a riqueza de espécies, para a diversidade alfa filogenética e funcional utilizamos dois índices para cada métrica, sendo um dependente e outro independente da riqueza. Para estimar a diversidade filogenética alfa, utilizamos como índices o PD, que é definido pela soma do comprimento dos ramos conectando todas as espécies na comunidade (Faith 1992). E assim como os outros índices filogenéticos que dependem da riqueza de espécies, ele é somado pela quantidade da diferença filogenética presente em uma comunidade (Tucker et al. 2017). Adicionalmente, utilizamos o índice MNTD (Distância média do táxon mais próximo). Este índice é independente da riqueza, e utiliza a matriz de distância filogenética para quantificar a média dos valores mínimos de parentesco entre pares de espécies em uma comunidade, ou seja, o valor médio da distância para o vizinho mais próximo (Webb et al. 2002). Assim como os outros índices de divergência o MNTD considera a média da distribuição das unidades extraídas da árvore filogenética (Tucker et al. 2017). Esses índices foram gerados através do pacote ‘Vegan’ (Oksanen et al. 2020) no ambiente R (R Core Team 2023).

Para a diversidade funcional alfa utilizamos o índice dependente de riqueza o FRic (Riqueza funcional), que mede a quantidade de espaço funcional preenchido pelas espécies de uma comunidade (Mason e Mouillot 2013). Índices de riqueza funcional geralmente são usados como indicadores do espaço de nicho que é potencialmente usado ou não (Schleuter et al. 2010). A estimativa desse espaço pode ser calculada usando dendrogramas (Petchey e Gaston 2002). Também utilizamos o índice independente da riqueza FDiv (Divergência funcional), que é uma medida que descreve a irregularidade na distribuição dos valores dos atributos no volume do espaço funcional ocupado por todas as espécies de uma certa comunidade (Garnier et al. 2015). Esses índices foram gerados através do pacote ‘fundiversity’ (Grenié e Gruson 2023) no ambiente R (R Core Team 2023).

Por fim, para verificar quais variáveis estão correlacionadas de forma significativa com a diversidade alfa taxonômica, filogenética e funcional ao longo do gradiente de altitude nós utilizamos os Modelos Lineares Generalizados (GLM). Nos modelos a radiação solar, pressão de vapor de água, temperatura, velocidade do vento e precipitação foram incluídas como variáveis preditoras. Dados dessas variáveis são provenientes do repositório Worldclim com resolução de 30 arc segundos (<https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>). Incluímos também como preditores o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), coeficiente de variação do Índice de Vegetação Aprimorado (EVI), variância do EVI e cobertura das nuvens, proveniente do banco de dados EarthEnv com resolução de 30 arc segundos (<http://www.earthenv.org/>). Os dados de rugosidade foram obtidos via QGIS versão 3.28 a partir do Modelo de Elevação com resolução de 30 segundos. Testamos a colinearidade entre variáveis preditoras utilizando VIF (Variance Inflation Factor) (Tabela S1), mantendo apenas

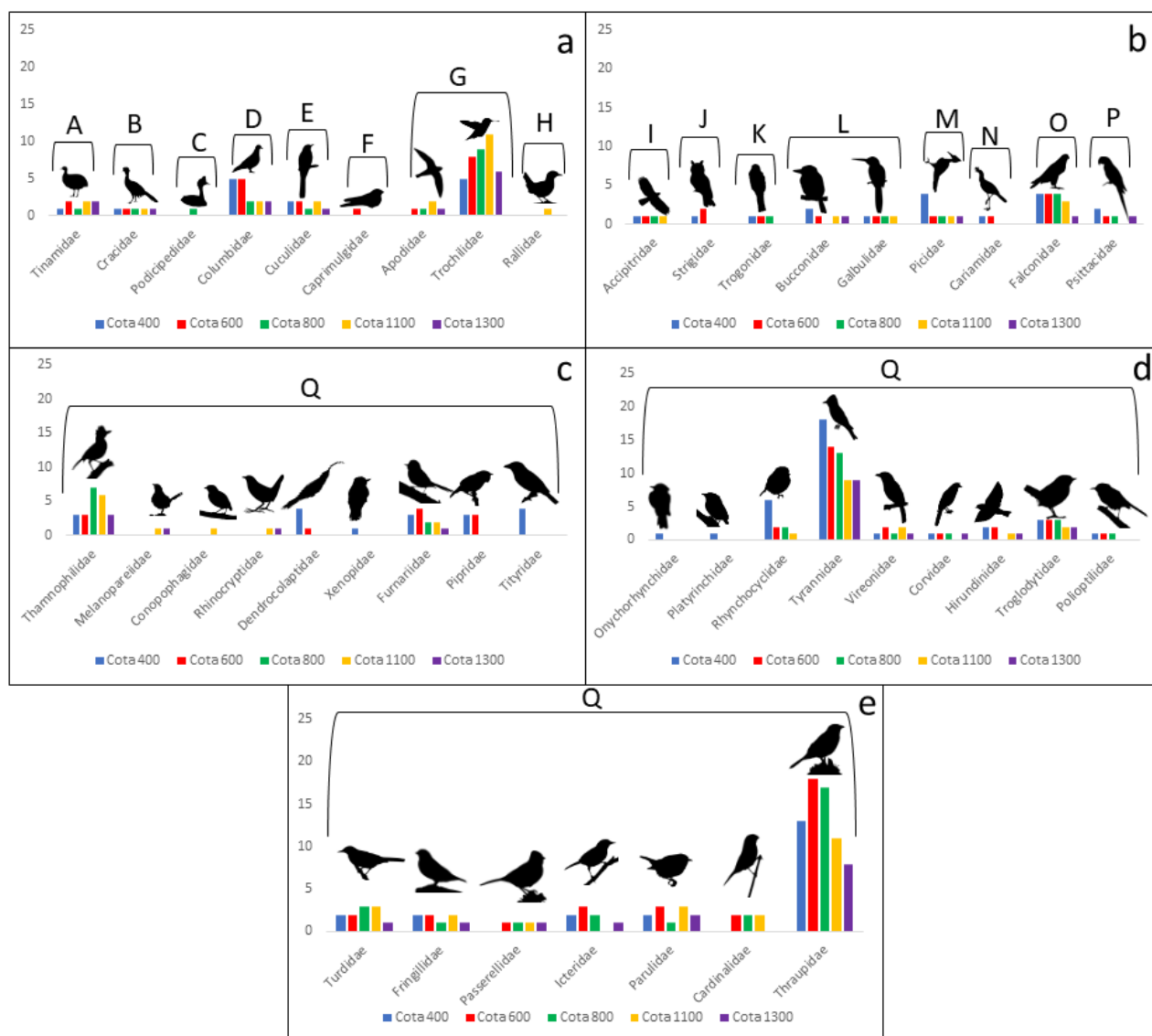
aquelas com  $VIF < 4$  (James et al. 2014). Após essa análise foram mantidas no modelo apenas temperatura, rugosidade, radiação solar e NDVI (Tabela S2).

Os índices de diversidade alfa taxonômica (riqueza), filogenética (PD e MNTD), e funcional (FRic e FDiv) foram adotados como variáveis resposta nos modelos. No caso da riqueza, adotamos a distribuição Poisson com link identity. Quanto aos modelos de diversidade filogenética, a escolha foi a distribuição Gaussiana com link identity, e para a diversidade funcional, também a Gaussiana, com link log (Silva et al. 2022). As análises foram realizadas através da função ‘glm’ do pacote ‘stats’ no ambiente R (R Core Team 2023).

### **3. Resultados**

Registramos um total de 162 espécies de aves distribuídas em 43 famílias na amostragem ao longo do gradiente altitudinal na Chapada Diamantina. Entre essas espécies, estão incluídas algumas espécies endêmicas da região e que enfrentam ameaças significativas de extinção (Tabela S3). Notavelmente, a cota 400-500 m exibiu a maior riqueza com a presença de 104 espécies distribuídas em 34 famílias, enquanto a cota 1200-1300 m registrou a menor quantidade com 51 espécies distribuídas em 25 famílias (Fig. 4) (Tabela S4).



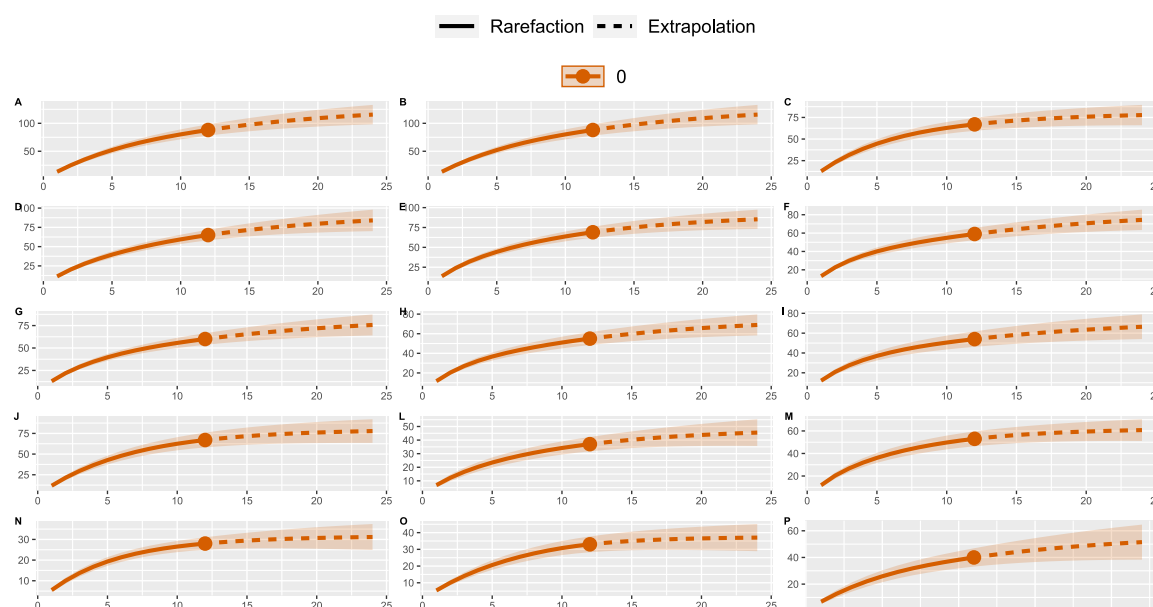


**Fig. 4** Gráficos representando a distribuição as espécies por família em cada cota altitudinal. (a) Gráfico representando a distribuição das famílias nas ordens (A) Tinamiformes, (B) Galliformes, (C) Podicipediformes, (D) Columbiformes, (E) Cuculiformes, (F) Nyctibiiformes e (G) Apodiformes. (b) Gráfico representando a distribuição das famílias nas ordens (H) Rallidae, (I) Accipitridae, (J) Strigidae, (K) Trogonidae, (L) Bucconidae, (M) Galbulidae, (N) Picidae, (O) Cariamidae, (P) Falconidae e (Q) Psittacidae. (c), (d) e (e) Representam a distribuição das famílias na ordem (Q) Passeriformes

A distribuição das famílias variou consideravelmente entre as áreas de estudo, no entanto, as famílias Thraupidae e Tyrannidae se destacaram consistentemente, apresentando a maior riqueza em todas as cotas. Na cota 400-500 m notamos presença significativa das famílias Tyrannidae (18 espécies), Thraupidae (13 espécies) e

Rhynchocyclidae (6 espécies). A cota 600-700 teve destaque para as famílias Thraupidae (18 espécies), Tyrannidae (14 espécies) e Trochilidae (8 espécies). A cota 800-900 apresentou maior riqueza para as famílias Thraupidae (17 espécies), Tyrannidae (13 espécies) e Trochilidae (9 espécies). Na cota 1000-1100 as famílias Thraupidae (11 espécies) Trochilidae (11 espécies) Tyrannidae (9 espécies) foram as mais frequentes. Por fim, a cota 1200-1300 foi marcada pela predominância das famílias Tyrannidae (9 espécies) Thraupidae (8 espécies) Trochilidae (6 espécies) (Fig. 4).

Nas curvas de rarefação de espécies para cada réplica amostrada é possível notar que seguem o mesmo padrão de extrapolação, com indicação de início de estabilização para a maioria das unidades. O tempo de amostragem e padrões equivalentes sugerem que nossa amostragem possui um bom poder explicativo da diversidade da comunidade ao longo do gradiente investigado (Fig. 5).



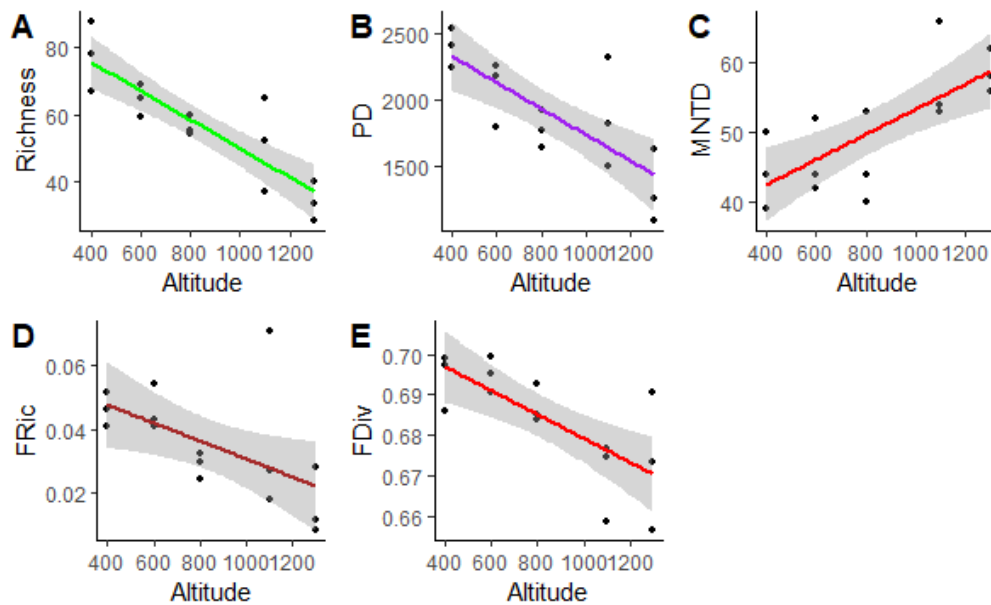
**Fig. 5** Curvas de rarefação e extrapolação de espécies de aves ao longo do gradiente altitudinal na Chapada Diamantina. A linha contínua indica a relação entre unidades amostrais e o número de espécies registradas. A linha tracejada aponta para o número esperado de espécies extrapolado para o dobro de esforço amostral. As imagens A, B e C representam as réplicas da cota 400-500, D, E e F representam as

réplicas da cota 600-700, G, H e I representam as réplicas da cota 800-900, J, L e M representam as réplicas da cota 1000-1100, N, O e P representam as réplicas da cota 1200-1300

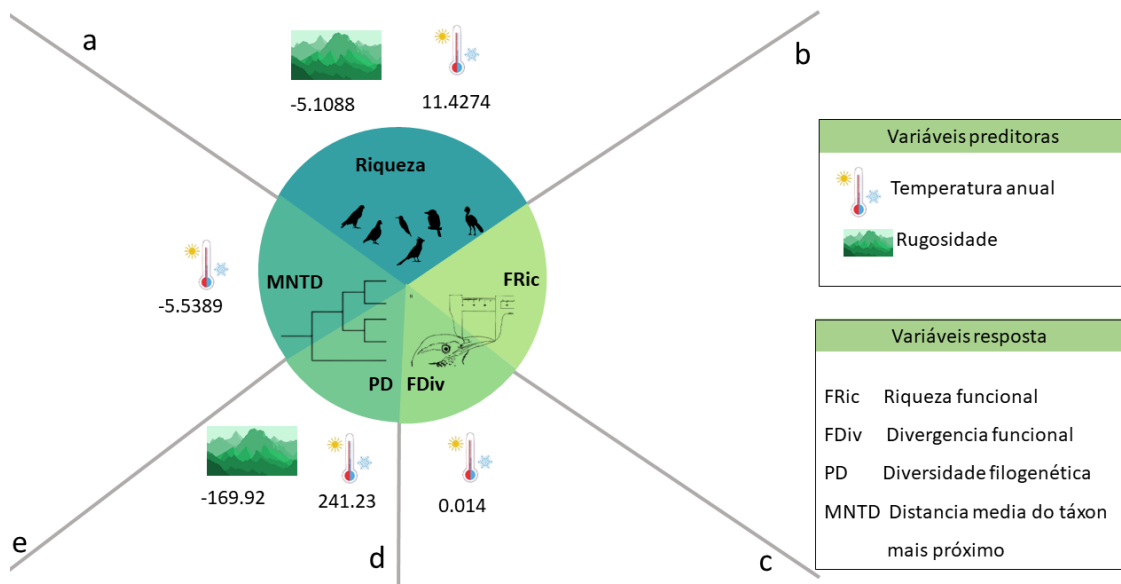
Com o objetivo de discernir o método de amostragem que mais contribuiu para os padrões identificados, os dados foram segregados com base nos registros provenientes de redes de neblina e pontos de escuta. Evidenciou-se que o método de pontos de escuta exerceu uma influência mais proeminente na amostragem da comunidade, proporcionando uma contribuição significativa para os padrões identificados. Esse método foi complementado pela utilização de redes de neblina, desempenhando um papel crucial na identificação de espécies não detectadas pelo primeiro método (Fig. S1).

#### **Padrão da diversidade alfa (taxonômica, filogenética e funcional) da avifauna**

Observamos associações estatisticamente significativas entre altitude e todos os índices de diversidade (Fig. 6 e 7). Os índices de Riqueza ( $R^2$  0.76,  $F$  41.48,  $\beta$  -0.0433 e  $p < .001$ ), PD ( $R^2$  0.607,  $F$  20.09,  $\beta$  -0.996 e  $p < .001$ ), FRic ( $R^2$  0.319,  $F$  6.096,  $\beta$  -0.00002795 e  $p < .001$ ) e FDiv ( $R^2$  0.541,  $F$  15.34,  $\beta$  -0.00002955 e  $p < .001$ ) demonstraram relações negativas, indicando uma diminuição à medida que a altitude aumenta (Fig. 6a, b, d, e). Em contrapartida, o índice MNTD ( $R^2$  0.566,  $F$  16.61,  $\beta$  0.018058 e  $p < .001$ ) exibiu padrão oposto, com uma relação positiva, indicando aumento com o incremento da altitude (fig. 6c).



**Fig. 6** Relação entre os índices de diversidade e a altitude: (A) uma correlação negativa entre a riqueza e a altitude; (B) uma associação negativa entre o Índice PD e a altitude; (C) uma relação positiva entre o Índice MNTD e a altitude; (D) uma associação negativa entre o Índice FRic e a altitude; (E) uma correlação negativa entre o Índice FDiv e a altitude



**Fig. 7** Sumarização dos principais resultados do estudo sobre os padrões observados, ao centro da imagem temos os índices de diversidade e suas respectivas relações com a altitude, as figuras fora do círculo representam as variáveis significativas dos modelos do GLM e seus respectivos valores de estimate. (A) uma correlação negativa entre a riqueza e a altitude e as variáveis significativas o modelo que fora a

temperatura anual e a rugosidade; (B) uma associação negativa entre o Índice FRic e a altitude, nesse modelo nenhuma variável foi estatisticamente significativa; (C) uma correlação negativa entre o Índice FDiv e a altitude, neste modelo apenas a temperatura anual foi significativa; (D) uma associação negativa entre o Índice PD e a altitude neste modelo a temperatura anual também foi a única variável significativa; (E) uma relação positiva entre o Índice MNTD e a altitude neste modelo apenas a temperatura anual foi significativa.

### **Correlação entre as variáveis ambientais e a diversidade de aves ao longo do gradiente de altitude**

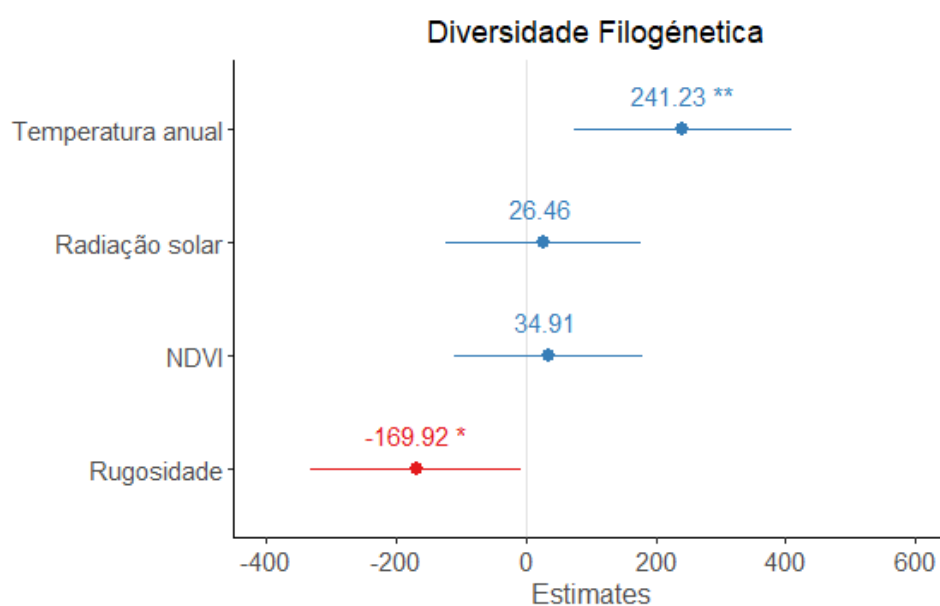
As estimativas dos modelos lineares generalizados (GLMs) indicaram associação significativa entre algumas variáveis ambientais e o padrão de diversidade de aves ao longo do gradiente de altitude (Fig. 7, 8, 9, 10, 11). Para a riqueza (diversidade taxonômica) verificamos que, entre as variáveis preditoras, a temperatura anual ( $R^2$  0.6966,  $F$  29.85,  $\beta$  11.4274 e  $p < .001$ ) e a rugosidade ( $R^2$  0.4392,  $F$  10.18,  $\beta$  -5.1088 e  $p$  0.013) apresentaram relações estatisticamente significativas (tabela 2). No entanto, a riqueza apresentou relação positiva com a temperatura, enquanto a rugosidade apresentou relação negativa (fig. S2a, b).

No que diz respeito à diversidade filogenética, a temperatura anual demonstrou significância estatística para os índices PD ( $R^2$  0.6057,  $F$  19.97,  $\beta$  241.23 e  $p$  0.018) e MNTD ( $R^2$  0.4595,  $F$  0.4595,  $\beta$  -5.5389 e  $p$  0.025). No entanto, observamos uma relação distinta: o índice PD revelou uma correlação positiva com a altitude, indicando que áreas com temperaturas mais elevadas tendem a abrigar uma maior diversidade (fig. S2c), ao passo que o índice MNTD revelou uma relação negativa com a temperatura (fig. S2d). Para o PD que é um índice dependente de riqueza além da temperatura anual a rugosidade também foi significativa ( $R^2$  0.466,  $F$  11.34,  $\beta$  -169.92 e  $p$  0.005). Em relação à diversidade funcional, o índice FRic não exibiu nenhuma variável significativa, enquanto o índice FDiv revelou que a temperatura anual ( $R^2$  0.5602,  $F$  16.56,  $\beta$  0.0141 e  $p$  0.017),

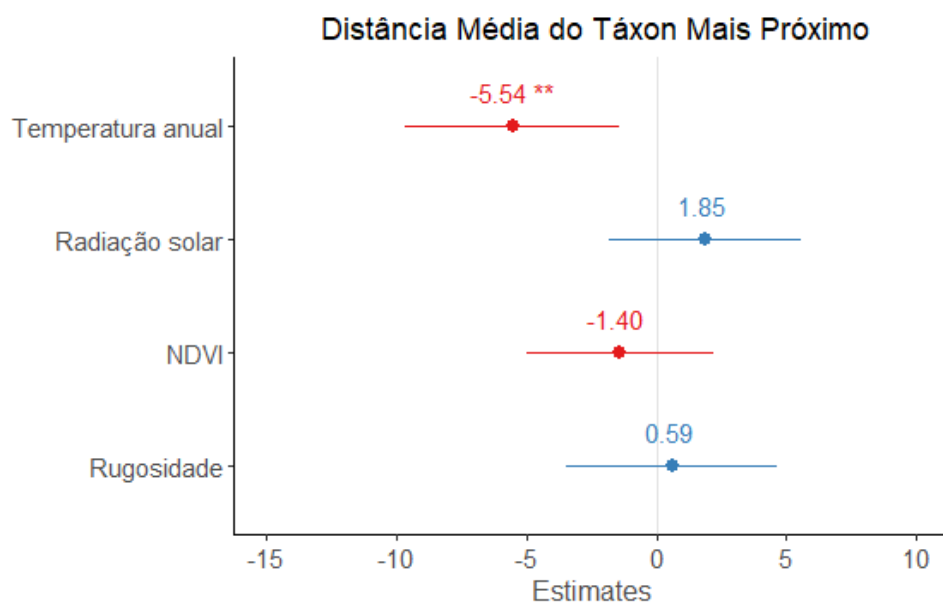
desempenhou um papel significativo em sua variação, como uma relação positiva entre o índice e a temperatura anual (fig. S2e).

**Tabela 2** Resultados da Análise de Modelo Linear Generalizado (GLM) para investigar as correlações entre variáveis ambientais e os índices de diversidade taxonômica, filogenética e funcional. A tabela apresenta as variáveis incluídas no modelo que demonstraram significância estatística. Riqueza = riqueza de espécies; PD = diversidade filogenética; MNTD = Distância média do táxon mais próximo, FRic = riqueza funcional, FDiv = divergência funcional

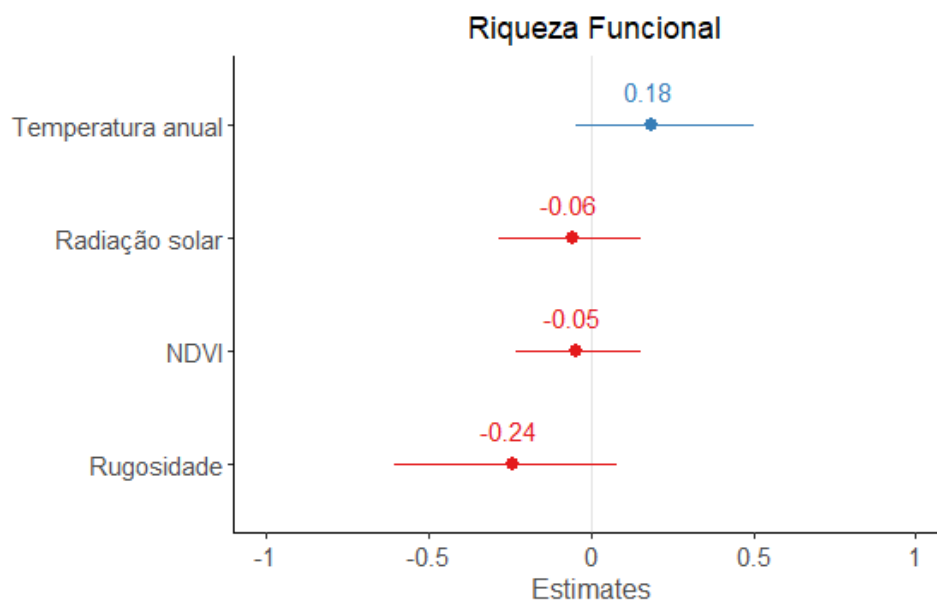
Variável resposta	Variável preditora	$\beta \pm SE$	df	z	t	P*
Riqueza	Temperatura anual	11.4274	1	4.840	-	< .001
	Rugosidade	-5.1088	1	-2.490	-	0.013
PD	Temperatura anual	241.23	1	-	-0.543	0.018
	Rugosidade	-169.92	1	-	-2.037	0.005
MNTD	Temperatura anual	-5.5389	1	-	-2.630	0.025
Fric	-	-	-	-	-	-
Fdiv	Temperatura anual	0.0141	1	-	2.851	0.017



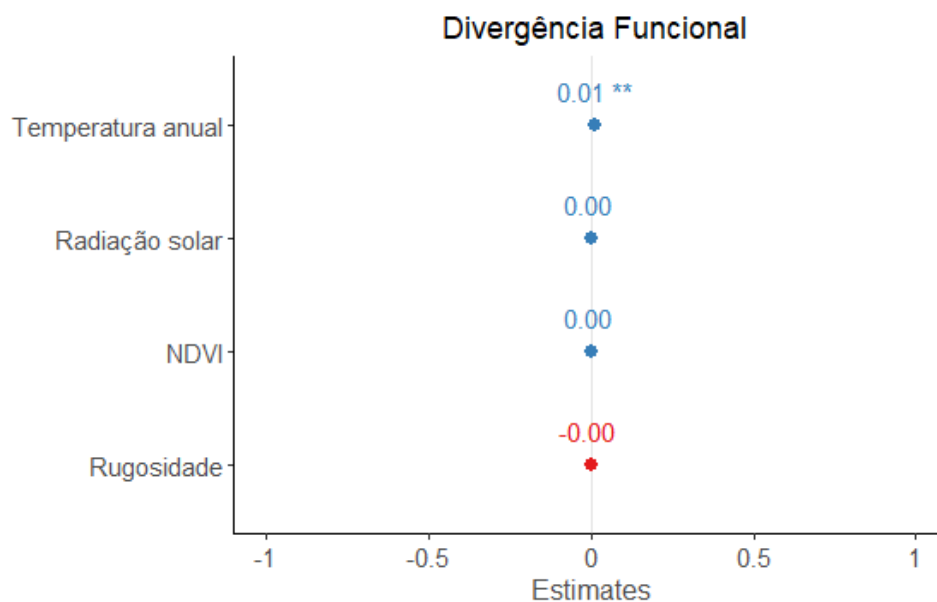
**Fig. 8** Estimativas do tamanho de efeito das variáveis preditoras em relação Diversidade Filogenética (PD) no modelo do GLM. As variáveis com efeito positivo estão destacadas em azul, enquanto aquelas com efeito negativo estão destacadas em vermelho. Os pontos representam a estimativa do modelo e as barras o intervalo de confiança. \* reflete a significância da variável para o modelo



**Fig. 9** Estimativas do tamanho de efeito das variáveis preditoras em relação à variável resposta Distância média do táxon mais próximo (MNTD) no modelo do GLM. As variáveis com efeito positivo estão destacadas em azul, enquanto aquelas com efeito negativo estão destacadas em vermelho. Os pontos representam a estimativa do modelo e as barras o intervalo de confiança. \* reflete a significância da variável para o modelo



**Fig. 10** Estimativas do tamanho de efeito das variáveis predictoras em relação à variável resposta Riqueza funcional (FRic) no modelo do GLM. As variáveis com efeito positivo estão destacadas em azul, enquanto aquelas com efeito negativo estão destacadas em vermelho. Os pontos representam a estimativa do modelo e as barras o intervalo de confiança



**Fig. 11** Estimativas do tamanho de efeito das variáveis predictoras em relação à variável resposta Divergência funcional (FDiv) no modelo do GLM. As variáveis com efeito positivo estão destacadas em



azul, enquanto aquelas com efeito negativo estão destacadas em vermelho. Os pontos representam a estimativa do modelo e as barras o intervalo de confiança. \* reflete a significância da variável para o modelo

#### **4. Discussão**

Neste estudo investigamos os padrões de diversidade alfa taxonômica, filogenética e funcional na avifauna ao longo de um gradiente de altitude na porção leste de montanhas sul-americanas, mais especificamente no Parque Nacional da Chapada Diamantina, região ao norte da Cadeia do Espinhaço. Ao conduzir levantamentos da comunidade de aves ao longo do gradiente altitudinal procuramos compreender também quais variáveis ambientais poderiam explicar aos padrões de diversidade. Os resultados indicaram que, conforme a altitude aumentava, os índices riqueza (diversidade taxonômica), diversidade filogenética (PD) e diversidade funcional (FRic e FDiv) diminuía, enquanto o MNTD (Diversidade filogenética) apresentou um padrão oposto aumentando com a elevação. Nossas análises destacaram a temperatura anual como a variável ambiental com o maior efeito nos modelos. Esse achado ressalta a importância da temperatura na configuração da estrutura da comunidade de aves em gradientes altitudinais em montanhas do leste sul-americano.

#### **Qual o padrão de diversidade alfa (taxonômica, filogenética e funcional) da avifauna ao longo de um gradiente altitudinal na Chapada Diamantina-Ba?**

Estudos sobre padrões de diversidade taxonômica (riqueza) em gradientes altitudinais destacam a complexa interação entre fatores climáticos, espaciais, biológicos e históricos como os principais determinantes desses padrões (McCain e Grytnes 2010; Cavarzere e Silveira 2012; Fernandes 2016; Santillán et al. 2020). Em nosso estudo observamos uma relação negativa entre os índices de diversidade Riqueza (taxonômica), PD (filogenética dependente de riqueza), Fric (funcional dependente de riqueza) e Fdiv

(funcional independente de riqueza) e a altitude. Esse resultado coincide com a tendência que é consistentemente observada nas regiões neotropicais em gradientes de altitude, sendo um dos padrões mais esperados para as montanhas dessa região (McCain 2009). A redução da riqueza de espécies associada ao aumento da altitude tem sido atribuída a diminuição das temperaturas, ao aumento da variação térmica e à simplificação do habitat e disponibilidade de recursos alimentares (Rahbek 1995; McCain 2007b; Ruggiero e Hawkins 2008).

Na área de estudo, é visível a transformação do ambiente à medida que a altitude aumenta, transitando de áreas florestadas para as zonas de maior altitude caracterizadas por campos rupestres com fisionomias distintas. Além disso, observa-se uma redução na temperatura com o ganho de elevação. Áreas de menor altitude podem oferecer mais recursos e condições ambientais propícias para a presença de diversas espécies. Dito de outro modo, à medida que a altitude aumenta, os recursos e as condições ambientais acabam se tornando mais desafiadoras, impondo limites que ultrapassam as tolerâncias de algumas espécies, o que pode intensificar a competição. Como resultado, algumas espécies são progressivamente excluídas à medida que a altitude se elevava.

As condições ambientais em áreas de elevações mais altas exercem uma seleção natural que favorece espécies com adaptações mais específicas para sobreviver e reproduzir nesses ambientes particulares (Graham et al. 2014). Além disso, a competição por recursos limitados nessas altitudes pode resultar na exclusão de espécies com nichos sobrepostos, reduzindo assim a similaridade filogenética entre as espécies coexistentes (Mayfield e Levine 2010). Como consequência, pode ocorrer um aumento potencial na diversidade filogenética, indicando a presença de espécies com características distintas originárias de linhagens diversas (Graham et al. 2014; Montaña-Centellas et al. 2020). Na Chapada Diamantina observamos padrões distintos quanto a diversidade filogenética:

o índice PD seguiu uma tendência semelhante à da riqueza de espécies, apresentando uma relação negativa com a altitude, enquanto o índice MNTD exibiu um padrão inverso, ou seja, uma relação positiva com a altitude. Uma possível explicação para o aumento do índice MNTD em altitudes mais elevadas reside na influência da filtragem ambiental e da competição interespecífica na montagem das comunidades desses ambientes.

A diversidade de traços funcionais nas assembleias de espécies pode ser o resultado de um filtro ambiental pelos recursos alimentares disponíveis (Hanz et al. 2019). Nossos resultados revelaram que a diversidade funcional, tanto de FRic como de FDiv, possui um padrão de relação negativa com a altitude. O fato do índice FDiv, que é um índice que diversidade funcional independente da riqueza, ter apresentado um padrão similar aos índices que são dependentes da riqueza, pode ser explicado pela disponibilidade de recursos (Stein et al. 2014; Xu et al. 2017). Na região do presente estudo as altitudes mais baixas possuem mais recursos para as espécies, por se tratar de ambientes florestados, e, por conseguinte uma maior diversidade funcional. Maior heterogeneidade do habitat pode ampliar a disponibilidade de tipos diferentes de recursos, assim favorecendo que espécies que requerem diferentes tipos de recursos ocupem o mesmo ambiente, incrementando assim tanto a diversidade funcional quanto a riqueza de espécies (Stein et al. 2014; Montaña-Centellas et al. 2020).

### **Quais variáveis ambientais estão correlacionadas a diversidade de aves ao longo do gradiente de altitude?**

Temperatura, precipitação e heterogeneidade do habitat têm sido reportadas como os principais fatores ambientais que moldam o padrão de diversidade alfa em gradientes altitudinais ao redor do mundo (McCain e Grytnes 2010; Stein et al. 2014; Montaña-Centellas et al. 2020; Lin et al. 2024). Nossos resultados indicam que a temperatura média anual apresentou a maior capacidade preditiva em relação à diversidade, influenciando

significativamente os índices de Riqueza, PD, MNTD e Fdiv de forma específica: relação positiva com os índices Riqueza, PD, e Fdiv, enquanto uma relação negativa com o MNTD.

Diversos estudos ressaltam uma correlação positiva entre a riqueza de espécies de aves e a temperatura ao longo de gradientes altitudinais (McCain 2007b; Boucher-Lalonde et al. 2014). As variações nos padrões de riqueza poderiam ser amplamente explicadas pelas mudanças térmicas em diferentes altitudes. Além disso, a complexa interação entre fatores ecológicos e históricos, que influenciam a sobrevivência, reprodução e distribuição das espécies, contribui para esse padrão (Graham et al. 2014).

A temperatura emerge como uma variável crucial na compreensão da distribuição e riqueza de aves ao longo do gradiente altitudinal na Chapada Diamantina. Ao longo desse gradiente, as condições climáticas podem representar um desafio para a persistência de diversas espécies, especialmente aquelas que não toleram faixas de temperaturas muito amenas, devido ao estresse termo regulatório diante de temperaturas mais baixas (Fjeldså et al. 2012). Este estresse deve restringir a capacidade das aves de suportar condições climáticas extremas, o que poderia explicar parte dos nossos resultados, nos quais áreas com temperaturas mais extremas exibem uma menor riqueza de espécies (Laurance et al. 2011; Laiolo et al. 2018; Rahbek 2019a).

A rugosidade, vinculada à topografia, constitui uma medida de heterogeneidade ambiental que tem sido utilizada para explicar parte da diversidade de espécies (Ruggiero e Hawkins 2008). A topografia/rugosidade e outras variáveis ambientais estão relacionadas à heterogeneidade ambiental e à riqueza de espécies de maneira positiva, alinhando-se à teoria clássica do nicho, onde ambientes heterogêneos propiciam micro-habitats diversos, promovendo a coexistência de espécies que ocupam diferentes nichos

e dependem de condições específicas de recursos (Willson 1974; Terborgh 1977; Ghimire et al. 2021).

Em nosso estudo, a rugosidade surgiu como variável significativa nos modelos onde a Riqueza e a PD (Diversidade filogenética) foram as variáveis respostas, ambos os índices são dependentes de riqueza. Apesar de ser uma variável significativa nestes modelos a rugosidade apresentou o tamanho de efeito menor que a temperatura, exibindo relação negativa com altitude. Esse é um resultado intrigante já que em algumas áreas, a rugosidade é mais pronunciada em altitudes mais baixas, favorecendo padrões positivos (Ruggiero e Hawkins 2008; Ghimire et al. 2021). Essa divergência pode ser influenciada por fatores específicos, como interações complexas com outros elementos do ambiente, como as condições climáticas que podem desempenhar um papel mais determinante nessa dinâmica na Chapada Diamantina (Santillán et al. 2020). As variações climáticas afetariam mais diretamente a disponibilidade de recursos, como alimentos e abrigo, moldando as estratégias adaptativas das espécies (Dillon e Conway 2021) do que a heterogeneidade em si do habitat.

Os resultados sugerem ainda que as outras duas variáveis associadas a variação de diversidade biológica, a radiação solar e o NDVI, exibiram poder preditivo não significativo nos modelos. O NDVI, uma medida de vegetação que está associada a padrões positivos de riqueza de espécies em alguns estudos (Lee et al. 2004; Wu et al. 2013; Pan et al. 2016). A falta de significância e a diferença em relação aos padrões observados em outros estudos podem ser atribuídas, em parte, à escala de altitude mais limitada de nosso estudo em comparação com trabalhos anteriores. Enquanto em estudos anteriores a variação altitudinal abrangeu picos que variavam de 3000 a 4200 metros, nossa pesquisa se restringiu a uma faixa altitudinal máxima de 1300 metros. É importante ressaltar que as regiões de maior altitude, como as cordilheiras do Himalaia, tendem a

apresentar mudanças mais marcantes na vegetação ao longo do gradiente altitudinal. Essa ampla variação na vegetação nessas áreas de maior altitude pode contribuir de maneira mais substancial para a riqueza de espécies, quando comparada com montanhas de menor altitude, onde as mudanças na vegetação não são tão pronunciadas (Ding et al. 2021; Iijima et al. 2023).

A relação entre radiação solar e riqueza de espécies em gradientes de altitude tem sido consistentemente documentada na literatura (Huertas e Díaz 2001; Kessler et al. 2001; Carrascal e Díaz 2006). No entanto, assim como o NDVI, não observamos uma relação clara entre a riqueza de espécies e essa variável em nosso estudo. Uma possível explicação para essa diferença pode residir na variação da faixa de temperatura nas áreas onde esses estudos foram realizados, com registros chegando a 2,5 °C. Em contextos fisiológicos, espécies que habitam ambientes com temperaturas mais baixas tendem a se beneficiar da radiação solar, por reduzir os custos da termorregulação, isso afeta a escolha de habitat, com a maior riqueza de aves em áreas mais frias correlacionada positivamente com a exposição ao sol (Repasky 1991; Wachob 1996; Huertas e Díaz 2001). No entanto, dado que a nossa área de estudo não apresenta essas condições extremas de temperatura, é plausível que a radiação solar não desempenhe um papel tão significativo nas características ambientais que influenciam a riqueza de espécies em nosso contexto.

Nossos resultados destacam a significativa influência do clima atual na diversidade de aves ao longo de gradientes altitudinais, evidenciando um fator crucial na compreensão de como as mudanças climáticas podem impactar adversamente as comunidades de aves nesses ambientes. Esse achado não apenas sublinha a interação dinâmica entre altitude e diversidade de aves nas montanhas do leste sul americano, mas também aponta para a vulnerabilidade dessas comunidades diante das mudanças climáticas em curso. A compreensão aprofundada desses padrões é vital para orientar

estratégias eficazes de conservação e manejo, visando mitigar os potenciais efeitos negativos das mudanças climáticas sobre as aves que habitam gradientes altitudinais.

Dada a complexidade dinâmica das comunidades de aves em gradientes altitudinais, torna-se imperativo realizar estudos de longo prazo para uma compreensão mais profunda do impacto das mudanças ambientais nessas áreas, especialmente aquelas associadas às alterações climáticas. A crescente evidência de que as mudanças climáticas afetam a fisiologia e a dieta de diversas espécies ressalta a necessidade de considerar o papel dessas transformações na dinâmica das cadeias alimentares, com repercussões significativas para as comunidades animais (Hallam e Harris 2023).

O reconhecimento de que os ecossistemas montanhosos podem atuar como refúgios térmicos para espécies deslocadas pelas mudanças climáticas destaca sua importância crucial (Dillon e Conway 2021). Esses ambientes podem desempenhar um papel vital no suporte a habitats que enfrentam riscos significativos de desaparecimento devido ao aquecimento global. A literatura tem destacado a necessidade de preservar ecossistemas montanhosos como um componente essencial na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (Laurance et al. 2011; Hoorn et al. 2018; Antonelli et al. 2018).

### **Implicações para conservação**

O aumento da temperatura resultante das mudanças climáticas do Antropoceno provavelmente impactará toda a cadeia ecológica desse ambiente, bem como outros gradientes altitudinais, tanto em regiões tropicais quanto temperadas (Hallam e Harris 2023). Nosso estudo se concentrou nas mudanças na comunidade de aves em um gradiente altitudinal, indicando que temperatura emerge como um componente importante na estrutura da avifauna. É crucial reconhecer que alterações climáticas podem causar danos à totalidade do ecossistema onde essas espécies estão inseridas. Esse fenômeno torna-se ainda mais crítico em ambientes de grande relevância ecológica, como

o Parque Nacional da Chapada Diamantina, a mais importante unidade de conservação da Cadeia do Espinhaço na sua porção norte. Portanto, nosso estudo se destaca pela possibilidade de criar uma referência em direção a necessidade de compreender e mitigar os impactos das mudanças climáticas na biodiversidade global. Considerando que as áreas de topo de montanha investigadas em nosso estudo são habitats de espécies endêmicas e restritas a esses ambientes, algumas das quais enfrentam ameaças de extinção, é preocupante a possibilidade de que o aumento das temperaturas nesses locais, resultado das mudanças climáticas do Antropoceno, pode aumentar o risco de extinção para essas espécies, por não encontrarem locais com temperaturas compatíveis com seus limites fisiológicos.

## 5. Referências bibliográficas

- Antonelli A, Kissling WD, Flantua SGA, et al (2018) Geological and climatic influences on mountain biodiversity. *Nature Geosci* 11:718–725.  
<https://doi.org/10.1038/s41561-018-0236-z>
- Barreto E, Rangel TF, Coelho MTP, et al (2021) Spatial variation in direct and indirect effects of climate and productivity on species richness of terrestrial tetrapods. *Global Ecol Biogeogr* 30:1899–1908. <https://doi.org/10.1111/geb.13357>
- Bibby CJ (2004) Bird diversity survey methods. In: Sutherland WJ, Newton I, Green RE (eds) *Bird ecology and conservation, A handbook of techniques*, Oxford University Press, Oxford, pp 1–15



- Blake JG (1992) Temporal Variation in Point Counts of Birds in a Lowland Wet Forest in Costa Rica. *The Condor* 94:265–275. <https://doi.org/10.2307/1368816>
- Bohdalková E, Toszogyova A, Šímová I, Storch D (2021) Universality in biodiversity patterns: variation in species–temperature and species–productivity relationships reveals a prominent role of productivity in diversity gradients. *Ecography* 44:1366–1378. <https://doi.org/10.1111/ecog.05613>
- Boucher-Lalonde V, Morin A, Currie DJ (2014) A consistent occupancy–climate relationship across birds and mammals of the Americas. *Oikos* 123:1029–1036. <https://doi.org/10.1111/oik.01277>
- Carrascal LM, Díaz L (2006) Winter bird distribution in abiotic and habitat structural gradients: A case study with mediterranean montane oakwoods. *Ecoscience* 13:100–110. [https://doi.org/10.2980/1195-6860\(2006\)13\[100:WBDIAA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2980/1195-6860(2006)13[100:WBDIAA]2.0.CO;2)
- Cavarzere V, Silveira LF (2012) Bird species diversity in the Atlantic Forest of Brazil is not explained by the Mid-domain Effect. *Zoologia (Curitiba)* 29:285–292. <https://doi.org/10.1590/S1984-46702012000400001>
- Cavarzere V, Roper JJ, Marchi V, Silveira LF (2021) Geographical drivers of altitudinal diversity of birds in the Atlantic Forest. *Biologia* 76:3275–3285. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00798-7>
- Cavarzere V, Roper JJ, Rego MA, et al. (2022) Avian assemblages in forest fragments do not sum to the expected regional community in the brazilian atlantic forest. *Zoological Studies* <https://doi.org/10.6620/ZS.2022.61-74>
- Cavender-Bares J, Kozak KH, Fine PVA, Kembel SW (2009) The merging of community ecology and phylogenetic biology. *Ecology Letters* 12:693–715. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01314.x>

Chao A, Jost L (2012) Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* 93:2533–2547.

<https://doi.org/10.1890/11-1952.1>

Cienciaruso MV, Silva IA, Batalha MA (2009) Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. *Biota Neotrop* 9:93–103.

<https://doi.org/10.1590/S1676-06032009000300008>

Colwell RK, Chao A, Gotelli NJ, et al (2012) Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages.

*Journal of Plant Ecology* 5:3–21. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtr044>

Dehling DM, Fritz SA, Töpfer T, et al (2014) Functional and phylogenetic diversity and assemblage structure of frugivorous birds along an elevational gradient in the tropical

Andes. *Ecography* 37:1047–1055. <https://doi.org/10.1111/ecog.00623>

Dillon KG, Conway CJ (2021) Habitat heterogeneity, temperature, and primary productivity drive elevational gradients in avian species diversity. *Ecology and*

*Evolution*, 11(11): 5985–5997. <https://doi.org/10.1002/ece3.7341>

Ding Z, Hu H, Cadotte MW, et al (2021) Elevational patterns of bird functional and phylogenetic structure in the central Himalaya. *Ecography* 44:1403–1417.

<https://doi.org/10.1111/ecog.05660>

Faith DP (1992) Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biological*

*Conservation* 61:1–10. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)91201-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)91201-3)

Fernandes GW, Almeida HA, Nunes CA, et al (2016) Cerrado to Rupestrian

Grasslands: Patterns of Species Distribution and the Forces Shaping Them Along an

Altitudinal Gradient. In: Fernandes GW (ed) *Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil*. Springer International Publishing, Cham, pp 345–377

Fjeldså J, Bowie RCK, Rahbek C (2012) The role of mountain ranges in the diversification of birds. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 43:249–265.

<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145113>

Garnier E, Navas M-L, Grigulis K (2016) *Plant Functional Diversity: Organism Traits, Community Structure, and Ecosystem Properties*. Oxford University Press

Ghimire A, Rokaya MB, Timsina B, et al (2021) Diversity of birds recorded at different altitudes in central Nepal Himalayas. *Ecological Indicators* 127:107730.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107730>

Graham CH, Carnaval AC, Cadena CD, et al (2014) The origin and maintenance of montane diversity: integrating evolutionary and ecological processes. *Ecography* 37:711–719. <https://doi.org/10.1111/ecog.00578>

Grenié M, Gruson H (2023) fundiversity: a modular R package to compute functional diversity indices. *Ecography*, (3): e06585. <https://doi.org/10.1111/ecog.06585>

Hallam J, Harris NC (2023) What’s going to be on the menu with global environmental changes? *Global Change Biology* 29:5744–5759. <https://doi.org/10.1111/gcb.16866>

Hanz DM, Böhning-Gaese K, Ferger SW, et al (2019) “Functional and Phylogenetic Diversity of Bird Assemblages Are Filtered by Different Biotic Factors on Tropical Mountains”. *Journal of Biogeography*, 46: 291–303. <https://doi.org/10.1111/jbi.13489>.

Hawkins BA, Field R, Cornell HV, et al (2003) Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology* 84:3105–3117.

<https://doi.org/10.1890/03-8006>

- Hoorn C, Perrigo A, Antonelli A (2018). Mountains, Climate and Biodiversity: An Introduction. In: Hoorn C, Perrigo A, Antonelli A (eds) Mountains, climate and biodiversity, John Wiley & Sons.
- Hsieh TC, Ma KH, Chao A (2016) iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution* 7:1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Huertas DL, Díaz J A (2001) Winter habitat selection by a montane forest bird assemblage: the effects of solar radiation. *Canadian Journal of Zoology*, 79(2), 279-284. DOI: 10.1139/z00-194
- Hurlbert AH, Haskell JP (2003) The Effect of Energy and Seasonality on Avian Species Richness and Community Composition. *The American Naturalist* 161:83–97. <https://doi.org/10.1086/345459>
- Iijima D, Kobayashi A, Morimoto G, Murakami M (2023) Drivers of functional and phylogenetic structures of mountain bird assemblages along an altitudinal gradient from the montane to alpine zones. *Global Ecology and Conservation* 48:e02689. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02689>
- James G, Witten D, Hastie T, Tibshirani R (2014) An introduction to statistical learning: With applications in R. Springer New York. pp. 426.
- Jarzyna MA, Quintero I, Jetz W (2021) Global functional and phylogenetic structure of avian assemblages across elevation and latitude. *Ecology Letters* 24:196–207. <https://doi.org/10.1111/ele.13631>
- Jetz W, Thomas GH, Joy JB, et al (2012) The global diversity of birds in space and time. *Nature* 491:444–448. <https://doi.org/10.1038/nature11631>

- Kessler M, Herzog SK, Fjeldså J, Bach K (2001) Species richness and endemism of plant and bird communities along two gradients of elevation, humidity and land use in the Bolivian Andes. *Diversity and Distributions* 7:61–77.  
<https://doi.org/10.1046/j.1472-4642.2001.00097.x>
- Körner C (2003) *Alpine plant life: functional plant ecology of high mountain ecosystems*. Springer Science & Business Media.
- Körner C (2004) Mountain biodiversity, its causes and function. *AMBIO: A Journal of the Human Environment* 33 (13): 11-17. <https://doi.org/10.1007/0044-7447-33.sp13.11>
- Laiolo P, Pato J, Obeso JR (2018) Ecological and evolutionary drivers of the elevational gradient of diversity. *Ecology Letters* 21:1022–1032. <https://doi.org/10.1111/ele.12967>
- Laurance WF, Carolina Useche D, Shoo LP, et al (2011) Global warming, elevational ranges and the vulnerability of tropical biota. *Biological Conservation* 144:548–557.  
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.10.010>
- Lee P, Ding T, Hsu F, Geng S (2004) Breeding bird species richness in Taiwan: distribution on gradients of elevation, primary productivity and urbanization. *Journal of Biogeography* 31:307–314. <https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00988.x>
- Leveau LM, Isla FI, Isabel Bellocq M (2020) From town to town: Predicting the taxonomic, functional and phylogenetic diversity of birds using NDVI. *Ecological Indicators* 119:106703. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106703>
- Lin H, Wang X, Zhong M, et al (2024) Elevational patterns and assembly processes of multifaceted bird diversity in a subtropical mountain system. *Journal of Biogeography* jbi.14827. <https://doi.org/10.1111/jbi.14827>
- MacArthur RH, MacArthur JW (1961) On bird species diversity. *Ecology* 42: 594 – 598

- MacArthur RH (1984) *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. Princeton University Press
- Magurran AE (2005) Biological diversity. *Current Biology* 15 (4): R116-R118.
- Magurran AE (2021) Measuring Biological Diversity, *Current Biology* 31 (19): R1174-R1177
- Mason NWH, Mouillot D (2013). Functional diversity measures. In: Levin SA (ed.). *Encyclopedia of Biodiversity*. 2nd. edn. Waltham, MA: Academic Press. p. 597-608.
- Mayfield MM, Levine JM (2010). Opposing effects of competitive exclusion on the phylogenetic structure of communities. *Ecology Letters*, 13, 1085– 1093.  
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01509.x>
- McCain CM (2007a) Area and mammalian elevational diversity. *Ecology* 88: 76–86.  
[https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2007\)88\[76:AAMED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2007)88[76:AAMED]2.0.CO;2)
- McCain, C. M. (2007b). Could temperature and water availability drive elevational species richness patterns? A global case study for bats. *Global Ecology and Biogeography*, 16(1), 1-13. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2006.00263.x>
- McCain CM (2009) Global analysis of bird elevational diversity. *Global Ecology and Biogeography* 18 (3): 346–360. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00443.x>
- McCain CM, Grytnes J (2010) Elevational gradients in species richness. In: *Encyclopedia of Life Sciences*, 1st edn. Wiley
- Montaño-Centellas FA, McCain C, Loiselle BA (2020) Using functional and phylogenetic diversity to infer avian community assembly along elevational gradients. *Global Ecol Biogeogr* 29:232–245. <https://doi.org/10.1111/geb.13021>

Montaño-Centellas FA, Loiselle BA, Tingley MW (2021) Ecological drivers of avian community assembly along a tropical elevation gradient. *Ecography* 44:574–588.

<https://doi.org/10.1111/ecog.05379>

Oksanen J et al. (2020) Vegan: community ecology package. R package version 2.5-7. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/>>. Acesso em: 10 nov 2021.

Pan X, Ding Z, Hu Y, et al (2016) Elevational pattern of bird species richness and its causes along a central Himalaya gradient, China. *PeerJ* 4:e2636.

<https://doi.org/10.7717/peerj.2636>

Perrigo A, Hoorn C, Antonelli A (2020) Why mountains matter for biodiversity. *Journal of Biogeography*, 47:315–325. <https://doi.org/10.1111/jbi.13731>

Petchey OL, Gaston KJ (2002) Functional diversity (FD), species richness and community composition. *Ecology Letters* 5:402–411. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x>

Pettorelli N, Gaillard J, Mysterud A, et al (2006) Using a proxy of plant productivity (NDVI) to find key periods for animal performance: the case of roe deer. *Oikos* 112:565–572. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2006.14447.x>

Pettorelli N, Ryan S, Mueller T, et al (2011) The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): unforeseen successes in animal ecology. *Climate Research* 46:15–27. <https://doi.org/10.3354/cr00936>

R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acessado em 01 de novembro de 2023

Rahbek, C. (1995). The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 18(2): 200-205

Rahbek C, Borregaard MK, Colwell RK, et al (2019b) Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? *Science* 365:1108–1113.

<https://doi.org/10.1126/science.aax0149>

Rahbek C, Borregaard MK, Antonelli A, et al (2019a) Building mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes. *Science* 365:1114–1119.

<https://doi.org/10.1126/science.aax0151>

Repasky, R.R. 1991. Temperature and the northern distributions of wintering birds.

*Ecology*, 72: 2274–2285. <https://doi.org/10.2307/1941577>

Revell, L. J. (2012). Phytools: An r package for phylogenetic comparative biology(And other things). *Methods in Ecology and Evolution*, 3(2), 217–223. DOI: 10.1111/j.2041-210X.2011.00169.x

Ricotta C (2005) A note on functional diversity measures. *Basic and applied*

*Ecology*, 6(5): 479-486. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2005.02.008>

Ruggiero A, Hawkins BA (2008) Why do mountains support so many species of birds?.

*Ecography*, 31: 306-315. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.05333.x>

Santillán V, Quitián M, Tinoco BA, et al (2020) Direct and indirect effects of elevation, climate and vegetation structure on bird communities on a tropical mountain. *Acta*

*Oecologica* 102:103500. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2019.103500>

Schleuter D, Daufresne M, Massol F, Argillier C (2010) A user's guide to functional diversity indices. *Ecological Monographs* 80:469–484. [https://doi.org/10.1890/08-](https://doi.org/10.1890/08-2225.1)

2225.1



Schunck F, Silveira LF, Candia-Gallardo C (2023) Studies of Brazilian birds along altitudinal gradients: a critical review. *Zoologia (Curitiba)* 40:e22036.

<https://doi.org/10.1590/s1984-4689.v40.e22036>

Sekercioglu CH, Schneider SH, Fay JP, Loarie SR (2008) Climate Change, Elevational Range Shifts, and Bird Extinctions. *Conservation Biology* 22:140–150.

<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00852.x>

Silva FR, Gonçalves-Souza T, Paterno GB et al. (2022) Análises ecológicas no R. Recife: Nupeea; Bauru, SP: Canal 6.

Srivastava DS, Lawton JH (1998) Why More Productive Sites Have More Species: An Experimental Test of Theory Using Tree-Hole Communities. *The American Naturalist* 152:510–529. <https://doi.org/10.1086/286187>

Stein A, Gerstner K, Kreft H (2014) Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters* 17:866–880. <https://doi.org/10.1111/ele.12277>

Terborgh J (1977) Bird species diversity on an andean elevational gradient. *Ecology* 58:1007–1019. <https://doi.org/10.2307/1936921>

Tilman D (2001) Functional Diversity. In: Levin SA (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity*, Elsevier, 3(1), pp.109-120.

Tobias JA, Sheard C, Pigot AL, et al (2022) AVONET: morphological, ecological and geographical data for all birds. *Ecology Letters* 25:581–597.

<https://doi.org/10.1111/ele.13898>

Tucker CM, Cadotte MW, Carvalho SB, et al (2017) A guide to phylogenetic metrics for conservation, community ecology and macroecology. *Biological Reviews* 92:698–715. <https://doi.org/10.1111/brv.12252>

Wachob, D.G. 1996. The effect of thermal microclimate on foraging site selection by wintering Mountain Chickadees. *Condor*, 98: 114–122. <https://doi.org/10.2307/1369514>

Webb CO, Ackerly DD, McPeck MA, Donoghue MJ (2002) Phylogenies and Community Ecology. *Annu Rev Ecol Syst* 33:475–505. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150448>

Willson MF (1974) Avian Community Organization and Habitat Structure. *Ecology* 55:1017–1029. <https://doi.org/10.2307/1940352>

Whittaker RH (1972) Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2-3): 213–251. <https://doi.org/10.2307/1218190>

Wright DH (1983) Species-Energy Theory: An Extension of Species-Area Theory. *Oikos* 41:496–506. <https://doi.org/10.2307/3544109>

Wu Y, Colwell RK, Rahbek C, et al (2013) Explaining the species richness of birds along a subtropical elevational gradient in the Hengduan Mountains. *Journal of Biogeography* 40:2310–2323. <https://doi.org/10.1111/jbi.12177>

Xu J, Chen Y, Zhang L, et al (2017) Using phylogeny and functional traits for assessing community assembly along environmental gradients: A deterministic process driven by elevation. *Ecology and Evolution* 7:5056–5069. <https://doi.org/10.1002/ece3.3068>

### Referências bibliográficas

ANDERSON, M. J. et al. Navigating the multiple meanings of  $\beta$  diversity: a roadmap for the practicing ecologist: Roadmap for beta diversity. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 19–28, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2010.01552.x>. Acesso em: 26 dez. 2023.

ANTONELLI, A. et al. Tracing the impact of the Andean uplift on Neotropical plant evolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 106, n. 24, p. 9749–9754, 2009. Disponível em: <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.0811421106>. Acesso em: 26 dez. 2023.

BARRY, R. G. **Mountain Weather and Climate Third Edition**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/mountain-weather-and-climate/AB88E7CA8DE0FD36123922EBBCBF3B1E>. Acesso em: 26 dez. 2023.

BASELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 134–143, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2009.00490.x>.

Acesso em: 26 dez. 2023.

BASELGA, A. The relationship between species replacement, dissimilarity derived from nestedness, and nestedness. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 21, n. 12, p. 1223–1232, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2011.00756.x>. Acesso em: 26 dez. 2023.

BENISTON, M. Climatic Change in Mountain Regions: A Review of Possible Impacts. **Climatic Change**, [s. l.], v. 59, n. 1, p. 5–31, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1024458411589>. Acesso em: 26 dez. 2023.

BENISTON, M. The Risks Associated with Climatic Change in Mountain Regions. In: HUBER, U. M. et al. (org.). **Global Change and Mountain Regions: An Overview of Current Knowledge**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2005. (Advances in Global Change Research). p. 511–519. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/1-4020-3508-X\\_51](https://doi.org/10.1007/1-4020-3508-X_51). Acesso em: 26 dez. 2023.

BENISTON, M. Mountain Weather and Climate: A General Overview and a Focus on Climatic Change in the Alps. **Hydrobiologia**, [s. l.], v. 562, n. 1, p. 3–16, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1802-0>. Acesso em: 27 dez. 2023.

CAIN, M. L. et al. **Ecologia**. 3ª edição. [S. l.]: Artmed, 2017.

BICUDO, J. E. P. W. et al. Adaptations: Living in Specific Environments. In: BICUDO, J. E. P. W. et al. (org.). **Ecological and environmental physiology of birds**. OUP Oxford, 2010, p. 134-186.

CAVARZERE, V.; SILVEIRA, L. F. Bird species diversity in the Atlantic Forest of Brazil is not explained by the Mid-domain Effect. **Zoologia** (Curitiba), [s. l.], v. 29, n. 4, p. 285–292, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/zool/a/sZHkp5FXWYfFYx5QPFGY3Lp/?lang=en>. Acesso em: 25 nov. 2023.

CAVENDER-BARES, J. et al. The merging of community ecology and phylogenetic biology. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 693–715, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2009.01314.x>. Acesso em: 27 dez. 2023.

CHEVIRON, Z. A.; BRUMFIELD, R. T. Genomic insights into adaptation to high-altitude environments. **Heredity**, [s. l.], v. 108, n. 4, p. 354–361, 2012. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/hdy201185>. Acesso em: 27 dez. 2023.

CHOWFIN, S. M.; LESLIE, A. J. Using birds as bioindicators of forest restoration progress: A preliminary study. **Trees, Forests and People**, [s. l.], v. 3, p. 100048, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666719320300480>. Acesso em: 27 dez. 2023.

CHRISTINA, S. et al. Birds as Indicators of Active Restoration in the Western Ghats. **Uttar Pradesh Journal of Zoology**, [s. l.], p. 37–46, 2023. Disponível em: <https://mbimph.com/index.php/UPJOZ/article/view/3466>. Acesso em: 30 nov. 2023.

CIANCIARUSO, M. V. et al. Diversidades filogenética e funcional: novas abordagens para a Ecologia de comunidades. **Biota Neotropica**, [s. l.], v. 9, p. 93–103, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/XY7DCLvLHgFnrsV8cjP8yDH/>. Acesso em: 27 dez. 2023.

CORTÉS, A. J.; WHEELER, J. A. The environmental heterogeneity of mountains at a fine scale in a changing world. In: HOORN, C. et al. (eds) **Mountains, Climate and Biodiversity**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2018. p. 187–102

DE QUEIROZ, L. P. et al. Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain. In: SILVA, J. M. C. et al. (org.). **Caatinga: The Largest Tropical Dry Forest Region in South America**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 23–63. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-68339-3_2). Acesso em: 30 nov. 2023.

DEHLING, D. M. et al. Functional and phylogenetic diversity and assemblage structure of frugivorous birds along an elevational gradient in the tropical Andes. **Ecography**, [s. l.], v. 37, n. 11, p. 1047–1055, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ecog.00623>. Acesso em: 27 dez. 2023.

DEVICTOR, V. et al. Spatial mismatch and congruence between taxonomic, phylogenetic and functional diversity: the need for integrative conservation strategies in a changing world. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 13, n. 8, p. 1030–1040, 2010. Disponível

em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2010.01493.x>. Acesso em: 27 dez. 2023.

DOUGHERTY, L. R. et al. A systematic map of studies testing the relationship between temperature and animal reproduction. **Ecological Solutions and Evidence**, v. 5, n. 1, p. e12303, 2024. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2688-8319.12303>. Acesso em: 04 fev. 2024.

FAITH, D. P. Conservation evaluation and phylogenetic diversity. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 61, n. 1, p. 1–10, 1992. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0006320792912013>. Acesso em: 27 dez. 2023.

FAN, L. et al. Bergmann's rule and Allen's rule in two passerine birds in China. **Avian Research**, v. 10, n. 1, p. 34, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40657-019-0172-7>. Acesso em: 02 fev. 2024.

FERNANDES, G. W. et al. Cerrado to Rupestrian Grasslands: Patterns of Species Distribution and the Forces Shaping Them Along an Altitudinal Gradient, In: Fernandes, G. W. (eds) **Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil**, Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 345–377.

FJELDSÅ, J. Mountains and the diversity of birds. In: HOORN, C. et al. (eds) **Mountains, climate and biodiversity**, John Wiley & Sons, 2018. p. 245-256.

FJELDSÅ, J. et al. The Role of Mountain Ranges in the Diversification of Birds. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 249–265, 2012. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145113>. Acesso em: 27 dez. 2023.

FREEMAN, B. G.. Interspecific competition limits bird species' ranges in tropical mountains. **Science**, [s. l.], v. 377, n. 6604, p. 416–420, 2022. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abl7242>. Acesso em: 19 dez. 2023.

GARDA, A. A. et al. Os animais vertebrados do Bioma Caatinga. **Ciência e Cultura**, [s. l.], v. 70, n. 4, p. 29–34, 2018. Disponível em: [http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0009-67252018000400010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0009-67252018000400010&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 30 nov. 2023.

GRAHAM, C. H.; FINE, P. V. A. Phylogenetic beta diversity: linking ecological and evolutionary processes across space in time. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 11, n. 12, p. 1265–1277, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2008.01256.x>. Acesso em: 26 dez. 2023.

GUILLAUMET, A.; RUSSELL, I. J. Bird Communities in a Changing World: The Role of Interspecific Competition. **Diversity**, [s. l.], v. 14, n. 10, p. 857, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-2818/14/10/857>. Acesso em: 27 dez. 2023.

HANZ, D. M. et al. Functional and phylogenetic diversity of bird assemblages are filtered by different biotic factors on tropical mountains. **Journal of Biogeography**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 291–303, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jbi.13489>. Acesso em: 3 dez. 2023.

JANKOWSKI, J. E. et al. The role of competition in structuring tropical bird communities. **Ornitologia Neotropical**, v. 23, p. 115-124, 2012.

JESUS, E. F. R. Caracterização geográfica e aspectos geológicos da Chapada Diamantina-Bahia. **Revista GeoNordeste**, 2012.

JETZ, W. et al. Ecological Correlates and Conservation Implications of Overestimating Species Geographic Ranges. **Conservation Biology**, [s. l.], v. 22, n. 1, p. 110–119, 2008. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2007.00847.x>. Acesso em: 27 dez. 2023.

JOSWIG, J. S. et al. Climatic and soil factors explain the two-dimensional spectrum of global plant trait variation. **Nature Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 36–50, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-021-01616-8>. Acesso em: 27 dez. 2023.

KÖRNER, C. The use of ‘altitude’ in ecological research. **Trends in Ecology & Evolution**, [s. l.], v. 22, n. 11, p. 569–574, 2007. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169534707002819>. Acesso em: 27 dez. 2023.

KRAFT, N. J. B. et al. Functional Traits and Niche-Based Tree Community Assembly in an Amazonian Forest. **Science**, [s. l.], v. 322, n. 5901, p. 580–582, 2008. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1160662>. Acesso em: 27 dez. 2023.

LAILOLO, P.; OBESO, J. R. Life-History Responses to the Altitudinal Gradient. In: CATALAN, J.; NINOT, J. M.; ANIZ, M. M. (Eds.). **High Mountain Conservation in a Changing World**. Cham: Springer International Publishing, 2017. v. 62 p. 253–283.

LEVINE, J. M. et al. Beyond pairwise mechanisms of species coexistence in complex communities. **Nature**, [s. l.], v. 546, n. 7656, p. 56–64, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature22898>. Acesso em: 27 dez. 2023.

LI, N. et al. Alpha and beta diversity of birds along elevational vegetation zones on the southern slope of Altai Mountains: Implication for conservation. **Global Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 19, p. e00643, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2351989419300721>. Acesso em: 26 dez. 2023.

LIU, W.; ZHENG, L.; QI, D. Variation in leaf traits at different altitudes reflects the adaptive strategy of plants to environmental changes. **Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 10, n. 15, p. 8166–8175, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.6519>. Acesso em: 27 dez. 2023.

LOISELLE, B. A.; BLAKE, J. G. Temporal Variation in Birds and Fruits Along an Elevational Gradient in Costa Rica. **Ecology**, [s. l.], v. 72, n. 1, p. 180–193, 1991. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1938913>. Acesso em: 27 dez. 2023.

MACARTHUR, R. H.; MACARTHUR, J. W. On Bird Species Diversity. **Ecology**, [s. l.], v. 42, n. 3, p. 594–598, 1961. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2307/1932254>. Acesso em: 27 dez. 2023.

MAGURRAN, A. E. Measuring Biological Diversity, **Current Biology**, [s. l.], v. 31, n. 19, p.1174-1177, 2021.

MARIYAPPAN, M. et al. Ecological Role and Ecosystem Services of Birds: A Review. **International Journal of Environment and Climate Change**, [s. l.], v. 13, n. 6, p. 76–87, 2023. Disponível em: <https://journalijecc.com/index.php/IJECC/article/view/1800>. Acesso em: 26 dez. 2023.

MARTIN, K. et al. Avian ecology and community structure across elevation gradients: The importance of high latitude temperate mountain habitats for conserving biodiversity in the Americas. **Global Ecology and Conservation**, [s. l.], v. 30, p. e01799, 2021.



Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989421003498>. Acesso em: 27 dez. 2023.

MARTINELLI, G. Mountain biodiversity in Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, [s. l.], v. 30, n. 4, p. 587–597, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/QrgY7RQBx5DVrTPX55jJ76b/>. Acesso em: 25 fev. 2024.

MCCAIN, C. M. Global analysis of bird elevational diversity. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 346–360, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2008.00443.x>. Acesso em: 19 out. 2023.

MCCAIN, C. M.; GRYTNES, J. Elevational Gradients in Species Richness. In: WILEY. **Encyclopedia of Life Sciences**. 1. ed. [S. l.]: Wiley, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470015902.a0022548>. Acesso em: 2 dez. 2023.

MEYNARD, C. N. et al. Beyond taxonomic diversity patterns: how do  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  components of bird functional and phylogenetic diversity respond to environmental gradients across France?: Multiple facets of diversity. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 893–903, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2010.00647.x>. Acesso em: 27 dez. 2023.

MONTAÑO-CENTELLAS, F. A. et al. Using functional and phylogenetic diversity to infer avian community assembly along elevational gradients. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 232–245, 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/geb.13021>. Acesso em: 2 dez. 2023.

MONTAÑO-CENTELLAS, F. A.; LOISELLE, B. A.; TINGLEY, M. W. Ecological drivers of avian community assembly along a tropical elevation gradient. **Ecography**, [s. l.], v. 44, n. 4, p. 574–588, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ecog.05379>. Acesso em: 27 dez. 2023.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [s. l.], v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em: 27 dez. 2023.

PARRINI, R. et al. Birds of the Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. **Cotinga**, v. 11, p.

86-95, 1999.

PAVOINE, S.; VELA, E.; GACHET, S.; DE BÉLAIR, G.; BONSALE, M. B. Linking patterns in phylogeny, traits, abiotic variables and space: a novel approach to linking environmental filtering and plant community assembly. **Journal of Ecology**, [s. l.], v. 99, n. 1, p. 165–175, 2011. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2745.2010.01743.x>. Acesso em: 27 dez. 2023.

PETCHEY, O. L.; GASTON, K. J. Functional diversity (FD), species richness and community composition. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 402–411, 2002. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1461-0248.2002.00339.x>. Acesso em: 27 dez. 2023.

PURSCHE, O. et al. Contrasting changes in taxonomic, phylogenetic and functional diversity during a long-term succession: insights into assembly processes. **Journal of Ecology**, [s. l.], v. 101, n. 4, p. 857–866, 2013. Disponível em: <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2745.12098>. Acesso em: 27 dez. 2023.

QUINTERO, I.; JETZ, W. Global elevational diversity and diversification of birds. **Nature**, [s. l.], v. 555, n. 7695, p. 246–250, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature25794>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RAHBEK, C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 224–239, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2004.00701.x>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RAHBEK, C. et al. Building mountain biodiversity: Geological and evolutionary processes. **Science**, [s. l.], v. 365, n. 6458, p. 1114–1119, 2019a. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aax0151>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RAHBEK, C. et al. Humboldt’s enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity? **Science**, [s. l.], v. 365, n. 6458, p. 1108–1113, 2019b. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aax0149>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RAMÍREZ-ALBORES, J. E. et al. Alpha, Beta and Gamma Diversity of the Birds in a Tropical Landscape of Southern Mexico. **Journal of Biodiversity Management &**

**Forestry**, [s. l.], v. 8, 2014. Disponível em: <https://www.scitechnol.com/>. Acesso em: 27 dez. 2023.

RAPINI, A. et al. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, v. 4, n. 1-2, p. 16-24, 2008.

RICOTTA, C. Through the Jungle of Biological Diversity. **Acta Biotheoretica**, [s. l.], v. 53, n. 1, p. 29–38, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10441-005-7001-6>. Acesso em: 27 dez. 2023.

ROCHA, W. J. S. F. et al. Avaliação ecológica rápida da Chapada Diamantina. **Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina. Ministério do Meio Ambiente, Brasília**, p. 29-45, 2005.

SAM, K. et al. Species richness of birds along a complete rain forest elevational gradient in the tropics: Habitat complexity and food resources matter. **Journal of Biogeography**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 279–290, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jbi.13482>. Acesso em: 27 dez. 2023.

SANTILLÁN, V. et al. Direct and indirect effects of elevation, climate and vegetation structure on bird communities on a tropical mountain. **Acta Oecologica**, [s. l.], v. 102, p. 103500, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1146609X19303157>. Acesso em: 27 dez. 2023.

SCHUNCK, F.; SILVEIRA, L. F.; CANDIA-GALLARDO, C. Studies of Brazilian birds along altitudinal gradients: a critical review. **Zoologia (Curitiba)**, [s. l.], v. 40, p. e22036, 2023. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1984-46702023000100502&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-46702023000100502&tlng=en). Acesso em: 4 dez. 2023.

ŞEKERCIOĞLU, Ç. H.; PRIMACK, R. B.; WORMWORTH, J. The effects of climate change on tropical birds. **Biological Conservation**, [s. l.], v. 148, n. 1, p. 1–18, 2012. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320711003880>. Acesso em: 29 nov. 2023.

SUN, Y.-B. et al. Species groups distributed across elevational gradients reveal convergent and continuous genetic adaptation to high elevations. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 115, n. 45, p. E10634 - E10641, 2018. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1813593115>. Acesso em: 04 fev. 2024.

TERBORGH, J. Bird Species Diversity on an Andean Elevational Gradient. **Ecology**, [s. l.], v. 58, n. 5, p. 1007–1019, 1977. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1936921>. Acesso em: 27 dez. 2023.

TILMAN, D. Functional diversity. **Encyclopedia of biodiversity**, v. 3, n. 1, p. 109-120, 2001.

TUCKER, C. M. et al. A guide to phylogenetic metrics for conservation, community ecology and macroecology. **Biological Reviews**, [s. l.], v. 92, n. 2, p. 698–715, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/brv.12252>. Acesso em: 27 dez. 2023.

VILLÉGER, S. et al. New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. **Ecology**, [s. l.], v. 89, n. 8, p. 2290–2301, 2008. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1890/07-1206.1>. Acesso em: 27 dez. 2023.

WALTHER, B. A. Vertical stratification and use of vegetation and light habitats by Neotropical forest birds. **Journal für Ornithologie**, [s. l.], v. 143, n. 1, p. 64–81, 2002. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/BF02465460>. Acesso em: 27 dez. 2023.

WANG, J. et al. Patterns of elevational beta diversity in micro- and macroorganisms. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 21, n. 7, p. 743–750, 2012. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1466-8238.2011.00718.x>. Acesso em: 26 dez. 2023.

WANG, X. et al. High-altitude adaptation in vertebrates as revealed by mitochondrial genome analyses. **Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 11, n. 21, p. 15077–15084, 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.8189>. Acesso em: 18 nov. 2023.

WEBB, C. O. et al. Phylogenies and Community Ecology. **Annual Review of Ecology and Systematics**, [s. l.], v. 33, n. 1, p. 475–505, 2002. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.ecolsys.33.010802.150448>. Acesso em: 27 dez. 2023.

WEBER, R. E. High-altitude adaptations in vertebrate hemoglobins. **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 158, n. 2–3, p. 132–142, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569904807001425?via%3Dihub>. Acesso em: 04 fev. 2024.

WHITTAKER, R. H. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. **Ecological Monographs**, [s. l.], v. 30, n. 3, p. 279–338, 1960. Disponível em: <https://esajournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1943563>. Acesso em: 27 dez. 2023.

WHITTAKER, R. H. Evolution and measurement of species diversity. **TAXON**, [s. l.], v. 21, n. 2–3, p. 213–251, 1972. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2307/1218190>. Acesso em: 27 dez. 2023.



## Apêndices

### Material Suplementar

**Título:** Determinantes da diversidade taxonômica, funcional e filogenética de assembleias de Aves em um gradiente de altitude na região Neotropical

**Journal:** Biodiversity and Conservation

**Autores:** Maisa Teixeira Alves <sup>1,4</sup>, Sidnei Sampaio dos Santos <sup>1</sup>, Thiago Nascimento Zanetti <sup>2</sup>, Marcel Silva Lemos <sup>3</sup>, Henrique Batalha-Filho <sup>1</sup>

1. Laboratório de Evolução e Biogeografia, Instituto de Biologia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil.

2. Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal da Paraíba, Areia, Paraíba, Brasil.

3. Museu de Zoologia e Paleontologia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, Bahia, Brasil.

4. Autor correspondente. E-mail: maisateixeiraalves@gmail.com

## Tabelas

**Tabela S1** Valores do Fator de Inflação da Variância (VIF) para cada Modelo do GLM, considerando cada variável preditora e resposta (Riqueza = riqueza de espécies; PD = diversidade filogenética; MNTD = Distância média do táxon mais próximo, FRic = riqueza funcional, FDiv = divergência funcional)

<b>Variáveis preditoras</b>	<b>Riqueza</b>	<b>PD</b>	<b>MNTD</b>	<b>FRic</b>	<b>FDiv</b>
Temperatura Anual	52.040012	71.228652	71.228652	282.973719	72.497890
Precipitação Anual	6.150166	5.180628	5.180628	5.983733	5.186467
Cobertura das nuvens	13.652609	14.652867	14.652867	80.145112	14.455591
Vapor de água	615.659727	569.794792	569.794792	1147.887197	567.090097
Coefficiente de Variação	51.954781	87.828839	87.828839	532.928577	90.583945
Variação	50.325108	87.877570	87.877570	604.687709	91.954966
Velocidade do Vento	531.347459	466.537485	466.537485	740.566772	461.335259
Radiação Solar	18.884608	21.810471	21.810471	57.137195	22.064114
NDVI	6.186092	8.020287	8.020287	21.253978	8.401559
Rugosidade	8.190447	7.381984	7.381984	3.902019	7.318463

**Tabela S2** Valores do Fator de Inflação da Variância (VIF) para cada Modelo do GLM após remoção de VIF < 4, considerando cada variável preditora e resposta (Riqueza = riqueza de espécies; PD = diversidade filogenética; MNTD = Distância média do táxon mais próximo =, FRic = riqueza funcional, FDiv = divergência funcional)

<b>Variáveis preditoras</b>	<b>Riqueza</b>	<b>PD</b>	<b>MNTD</b>	<b>FRic</b>	<b>FDiv</b>
Temperatura Anual	1.512575	1.432561	1.432561	1.265954	1.265954
Radiação Solar	1.112921	1.140307	1.140307	1.360133	1.360133
NDVI	1.100418	1.081959	1.081959	1.040647	1.040647
Rugosidade	1.524295	1.367265	1.367265	1.149736	1.149736



**Tabela S3** Registro da avifauna ao longo de um gradiente altitudinal no Parque Nacional da Chapada Diamantina. Cota = indica a presença das espécies nas áreas, sendo 1 representando presença e 0, ausência. Status = refere-se à condição de ocorrência das espécies no Brasil de acordo com a lista brasileira da avifauna (CBRO, 2021), sendo: RE = Residente ou migrante reprodutivo; VI(S) = Visitante sazonal não reprodutivo do Sul (S); En = Espécie endêmica do Brasil; \* Endêmico da Chapada Diamantina (CRBO, 2021). IUCN 2023-1 = fornece informações sobre o risco de extinção a nível global, com EN = Em Perigo; VU = Vulnerável; N = Quase Ameaçado; LC = Pouco Preocupante. MMA = apresenta o risco de extinção segundo a classificação do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (BRASIL, 2022), com EN = Em Perigo; VU = Vulnerável

Família/ Espécie	400-500	600-700	Cota 800-900	1000-1100	1200-1300	STATUS	IUCN 2023-1	MMA
<b>TINAMIDAE</b>								
<i>Crypturellus zabele</i>	1	1	0	0	0	En	-	VU
<i>Crypturellus parvirostris</i>	0	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Rynchotus rufescens</i>	0	0	0	1	1	RE	LC	-
<b>CRACIDAE</b>								
<i>Ortalis araucuan</i>	0	0	1	1	1	En	LC	-
<i>Penelope superciliaris</i>	1	1	0	0	0	RE	LC	-
<b>PODICIPEDIDAE</b>								
<i>Tachybaptus dominicus</i>	0	0	1	0	0	RE	LC	-
<b>COLUMBIDAE</b>								
<i>Columbina picui</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-
<i>Columbina squammata</i>	1	1	1	0	0	RE	LC	-
<i>Columbina talpacoti</i>	1	1	0	1	0	RE	LC	-
<i>Leptotila rufaxilla</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Leptotila verreauxi</i>	1	1	1	0	1	RE	LC	-
<i>Patagioenas cayanaensis</i>	1	1	0	1	1	RE	LC	-
<b>CUCULIDAE</b>								
<i>Piaya cayana</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-

Família/ Espécie	400-500	600-700	Cota 800-900	1000-1100	1200-1300	STATUS	IUCN 2023-1	MMA
<i>Tapera naevia</i>	1	1	0	1	0	RE	LC	-
CAPRIMULGIDAE								
<i>Hydropsalis longirostris</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-
APODIDAE								
<i>Cypseloides senex</i>	0	0	0	1	0	RE	LC	-
<i>Streptoprocne biscutata</i>	0	1	1	1	1	RE	LC	-
TROCHILIDAE								
<i>Augastes lumachella</i>	0	0	1	1	1	En*	NT	EN
<i>Chionomesa fimbriata</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
<i>Chionomesa lactea</i>	0	0	0	1	0	RE	LC	-
<i>Chlorostilbon lucidus</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Chrysolampis mosquitus</i>	0	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Chrysuronia versicolor</i>	0	1	1	0	0	RE	LC	-
<i>Colibri delphinae</i>	0	0	1	1	1	En*	LC	EN
<i>Colibri serrirostris</i>	0	1	0	1	1	RE	LC	-
<i>Eupetomena macroura</i>	0	1	1	1	0	RE	LC	-
<i>Heliomaster squamosus</i>	0	0	0	1	0	En	LC	-
<i>Phaethornis pretrei</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Phaethornis ruber</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Thalurania glaucopis</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
RALLIDAE								
<i>Rufirallus viridis</i>	0	0	0	1	0	RE	LC	-
ACCIPITRIDAE								
<i>Rupornis magnirostris</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
STRIGIDAE								
<i>Glaucidium brasilianum</i>	1	1	0	0	0	RE	LC	-

Família/ Espécie	400-500	600-700	Cota 800-900	1000-1100	1200-1300	STATUS	IUCN 2023-1	MMA
<i>Megascops choliba</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-
TROGONIDAE								
<i>Trogon surrucura</i>	1	1	1	0	0	RE	LC	-
BUCCONIDAE								
<i>Nonnula rubecula</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Nystalus chacuru</i>				1		RE	LC	-
<i>Nystalus maculatus</i>	1	1	0	0	1	En	LC	-
GALBULIDAE								
<i>Galbula ruficauda</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
PICIDAE								
<i>Celeus ochraceus</i>	1	0	0	0	0	En	LC	-
<i>Piculus chrysocloros</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Picumnus pygmaeus</i>	1	1	1	1	1	En	LC	-
<i>Veniliornis passerinus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
CARIAMIDAE								
<i>Cariama cristata</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
FALCONIDAE								
<i>Caracara plancus</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
<i>Falco ruficularis</i>	0	1	1	0	0	RE	LC	-
<i>Herpetotheres cachinnans</i>	1	1	0	1	0	RE	LC	-
<i>Micrastur ruficollis</i>	1	0	1	0	0	RE	LC	-
<i>Milvago chimachima</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-
PSITTACIDAE								
<i>Eupisitulla cactorum</i>	1	1	1	0	0	En	LC	-
<i>Pyrrhura frontalis</i>	1	0	0	0	1	RE	LC	-
THAMNOPHILIDAE								

Família/ Espécie	400-500	600-700	Cota 800-900	1000-1100	1200-1300	STATUS	IUCN 2023-1	MMA
<i>Formicivora grantsau</i>	0	0	1	1	1	En*	EN	EN
<i>Formicivora melanogaster</i>	0	0	1	1	0	RE	LC	-
<i>Pyriglena leucoptera</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Radinopsyche sellowi</i>	0	0	1	1	0	En	LC	-
<i>Taraba major</i>	1	0	1	1	0	RE	LC	-
<i>Thamnophilus caerulescens</i>	0	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Thamnophilus pelzelni</i>	1	1	1	0	0	En	LC	-
<i>Thamnophilus torquatus</i>	0	1	1	1	1	RE	LC	-
MELANOPAREIIDAE								
<i>Melanopareia torquata</i>	0	0	0	1	1	RE	LC	-
CONOPOPHAGIDAE								
<i>Conopophaga cearae</i>	0	0	0	1	0	En	LC	EN
RHINOCRYPTIDAE								
<i>Scytalopus diamantinensis</i>	0	0	0	1	1	En*	EN	EN
DENDROCOLAPTIDAE								
<i>Dendrocolaptes platyrostris</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Dendroplex picus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Lepidocolaptes angustirostris</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Xiphorhynchus fuscus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
XENOPIIDAE								
<i>Xenops rutilans</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
FURNARIIDAE								
<i>Furnarius rufus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Pseudoseisura cristata</i>	0	1	0	0	0	En	LC	-
<i>Synallaxis albescens</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-

Família/ Espécie	Cota					STATUS	IUCN 2023-1	MMA
	400-500	600-700	800-900	1000-1100	1200-1300			
<i>Synallaxis frontalis</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
<i>Synallaxis scutata</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Synallaxis spixi</i>	0	1	1	1	1	RE	LC	-
PIPRIDAE								
<i>Antilophia galeata</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Chiroxiphia pareola</i>	1	1	0	0	0	RE	LC	-
<i>Manacus manacus</i>	1	1	0	0	0	RE	LC	-
<i>Neopelma pallescens</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-
TITYRIDAE								
<i>Pachyramphus polychopterus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Pachyramphus viridis</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Tityra cayana</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Tityra inquisitor</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
ONYCHORHYNCHIDAE								
<i>Myiobius barbatus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
PLATYRINCHIDAE								
<i>Platyrinchus mystaceus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
RHYNCHOCYCLIDAE								
<i>Hemitriccus margaritaceiventer</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
<i>Hemitriccus striaticollis</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Leptopogon amaurocephalus</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Poecilatriccus plumbeiceps</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Todirostrum cinereum</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Tolmomyias flaviventris</i>	1	1	1	0	0	RE	LC	-
TYRANNIDAE								
<i>Camptostoma obsoletum</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-



Família/ Espécie	400-500	600-700	Cota 800-900	1000-1100	1200-1300	STATUS	IUCN 2023-1	MMA
<i>Cyanocorax cyanopogon</i>	1	1	1	0	1	En	LC	-
HIRUNDINIDAE								
<i>Progne tapera</i>	1	1	0	0	0	RE	LC	-
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-
<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	1	0	0	1	1	RE	LC	-
TROGLODYTIDAE								
<i>Cantorchilus longirostris</i>	1	1	1	0	0	En	LC	-
<i>Pheugopedius genibarbis</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Troglodytes musculus</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-
POLIOPTILIDAE								
<i>Polioptila atricapilla</i>	1	1	1	0	0	En	LC	-
TURDIDAE								
<i>Turdus amaurochalinus</i>	1	0	1	1	0	RE	LC	-
<i>Turdus leucomelas</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Turdus rufiventris</i>	1	1	1	1	0	RE	LC	-
FRINGILLIDAE								
<i>Euphonia chlorotica</i>	1	1	1	1	1	RE	LC	-
<i>Spinus yarrellii</i>	0	0	0	1	0	En	VU	VU
PASSERELLIDAE								
<i>Zonotrichia capensis</i>	0	1	1	1	1	RE	LC	-
ICTERIDAE								
<i>Cacicus haemorrhous</i>	1	0	0	0	0	RE	LC	-
<i>Gnorimopsar chopi</i>	0	1	1	0	1	RE	LC	-
<i>Icterus jamacaii</i>	1	1	1	0	0	En	LC	-
<i>Molothrus bonariensis</i>	0	1	0	0	0	RE	LC	-
PARULIDAE								

Família/ Espécie	Cota					STATUS	IUCN 2023-1	MMA
	400-500	600-700	800-900	1000-1100	1200-1300			
Basileuterus culicivorus	1	1	0	1	1	RE	LC	-
Geothlypis aequinoctialis		1	1	1	1	RE	LC	-
Myiothlypis flaveola	1	1	0	1	0	RE	LC	-
CARDINALIDAE								
<i>Cyanoloxia brissonii</i>	0	1	1	1	0	RE	LC	-
<i>Piranga flava</i>	0	1	1	1	0	RE	LC	-
THRAUPIDAE								
Coereba flaveola	1	1	1	1	1	RE	LC	-
Conirostrum speciosum	1	1	0	0	0	RE	LC	-
Compsothraupis loricata	1	1	0	0	0	En	LC	-
Coryphospingus pileatus	0	0	1	0	0	RE	LC	-
Dacnis cayana	1	1	1	1	0	RE	LC	-
Emberizoides herbicola	0	0	1	1	1	RE	LC	-
Embernagra longicauda	0	0	1	1	1	En	LC	-
Hemithraupis guira	1	1	0	0	0	RE	LC	-
Nemosia pileata	1	1	0	0	0	RE	LC	-
Paroaroa dominicana	1	1	1	0	0	RE	LC	-
Saltator similis	1	1	1	1	1	RE	LC	-
Saltatricula atricollis	0	1	1	0	1	RE	LC	-
Schistochlamys ruficapillus	0	1	1	1	1	RE	LC	-
Sicalis citrina	0	1	1	0	0	RE	LC	-
Sporophila albogularis	0	0	1	0	0	En	LC	-
Sporophila leucoptera	1	1	0	0	0	RE	LC	-
Sporophila lineola	0	1	0	0	0	RE	LC	-
Sporophila nigricollis	1	1	1	1	1	RE	LC	-
Stilpinia cayana	1	1	1	1	0	RE	LC	-

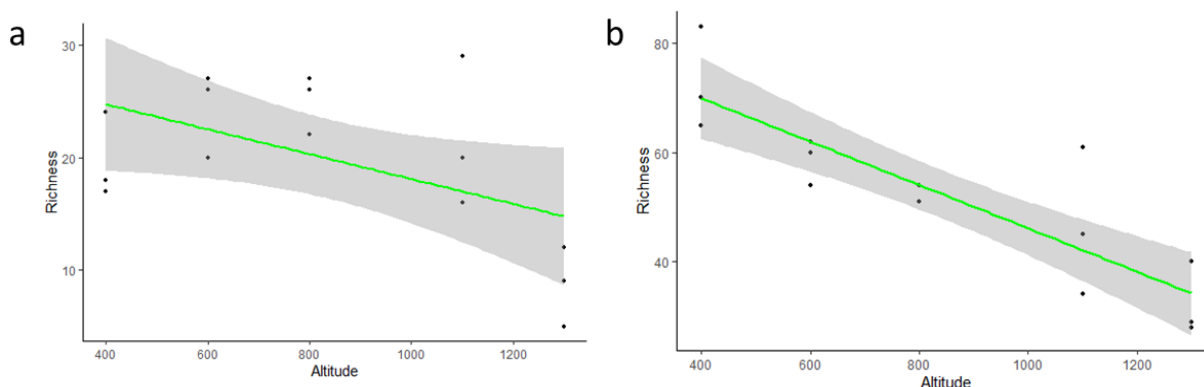


Família/ Espécie	Cota					STATUS	IUCN 2023-1	MMA
	400-500	600-700	800-900	1000-1100	1200-1300			
Tachyphonus rufus	1	1	1	1	1	RE	LC	-
Tangara cyanoventris	0	0	0	1	0	En	LC	-
Thraupis palmarum	1	1	1	0	0	RE	LC	-
Thraupis sayaca	1	1	1	1	0	RE	LC	-
Volatinia jacarina	0	1	1	0	0	RE	LC	-

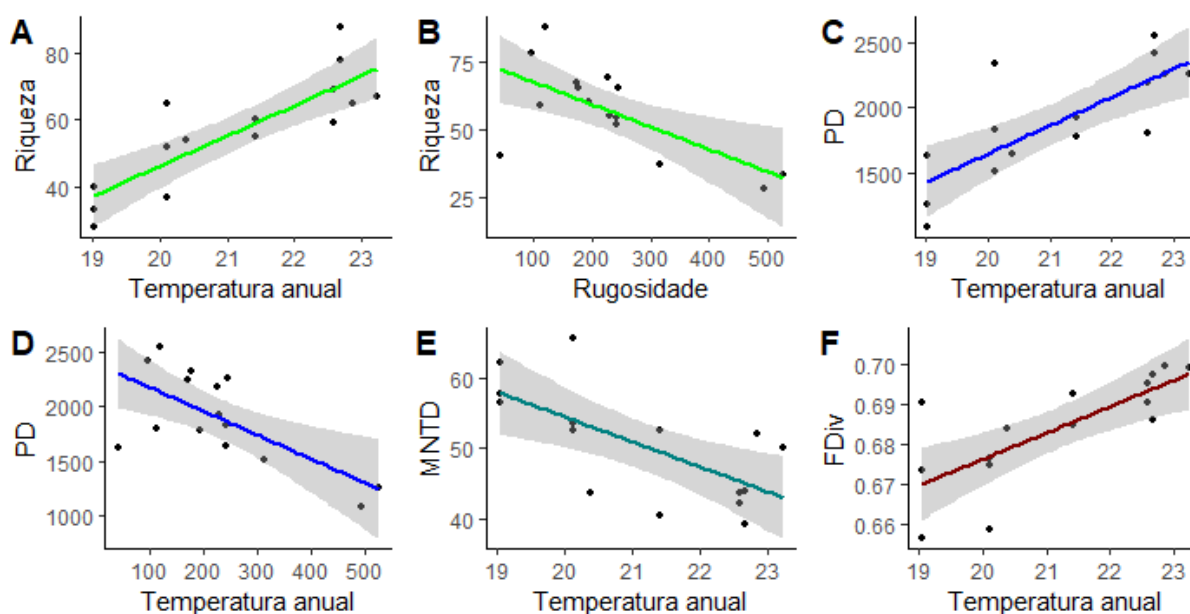
**Tabela S4** Representação da riqueza de espécies e distribuição das famílias em diferentes cotas altitudinais na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil

Cota	Riqueza de espécies	Famílias
400-500	104	34
600-700	99	33
800-900	82	28
1000-1100	76	28
1200-1300	51	25

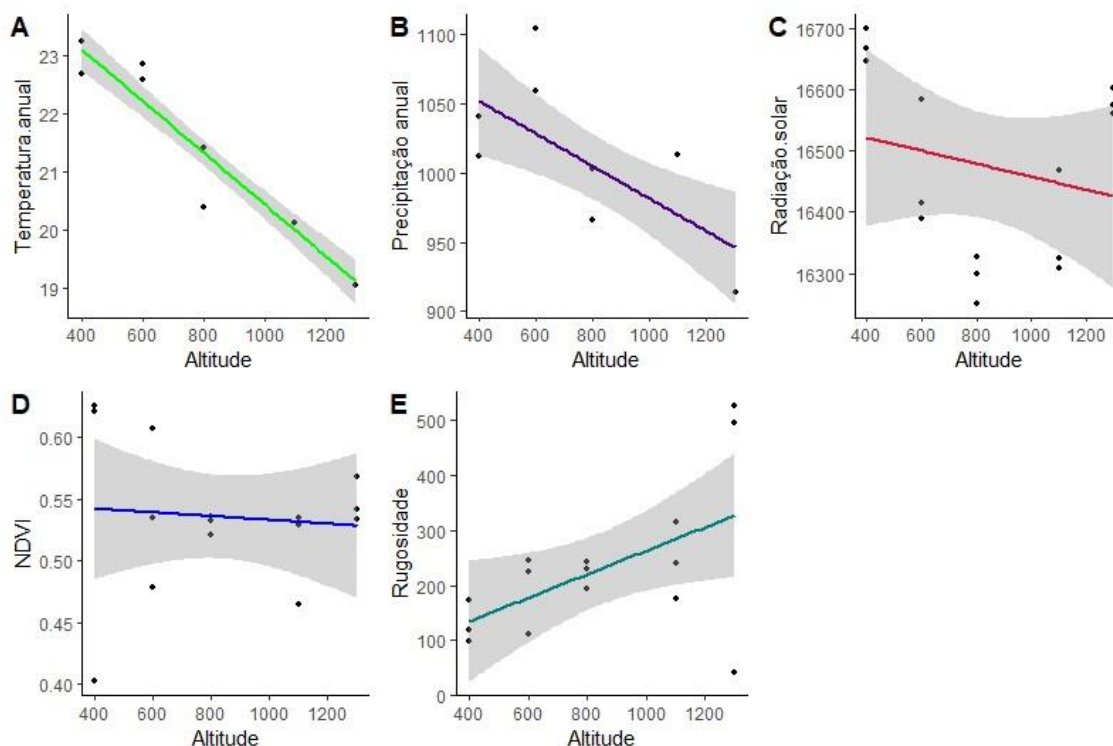
## Figuras



**Fig. S1** Correlação entre altitude e riqueza de aves ao longo de um gradiente na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. (a) Dispersão dos dados provenientes das redes de neblina. (b) Dispersão dos dados provenientes dos pontos de escuta



**Fig. S2** Padrões das relações entre as variáveis preditoras e respostas significativas nos modelos de GLM. (a) e (b) correlação entre temperatura média anual e rugosidade, respectivamente, com riqueza de espécies; (c) e (d) correlação entre temperatura média anual e rugosidade, respectivamente, com o índice Diversidade Filogenética (PD); (e) e (f) correlação entre os temperatura média anual e, respectivamente, índices de diversidade filogenética MNTD = Distância média do táxon mais próximo e diversidade funcional FDiv = divergência funcional.



**Fig. S3** Padrões das relações entre as variáveis preditoras e altitude nos modelos de GLM. (a) correlação entre temperatura média anual e a altitude (b) correlação entre Precipitação anual e altitude, (c) correlação entre Radiação solar e altitude, (d) correlação entre NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e altitude e (e) correlação entre rugosidade e altitude

## Referências

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2022). Portaria MMA nº 148, de 07 de junho de 2022. Atualiza a lista oficial das espécies da fauna e flora ameaçadas de extinção. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 08 jun. 2022. Seção 1, p. 1.

## Anexos

### Normas da revista

## Instruções para Autores

### Em geral

**Linguagem:** O idioma da revista é o inglês. A ortografia e a terminologia do inglês britânico ou do inglês americano podem ser usadas.

**Espaçamento:** Por favor, coloque espaço duplo em todo o material, incluindo notas e referências.

**Nomenclatura:** A revista não se dedica à taxonomia nem à publicação de novos nomes científicos, a menos em situações excepcionais. Segue as regras internacionais de nomenclatura para os nomes corretos dos organismos, mas geralmente omite as citações dos autores, exceto em casos especiais quando referências bibliográficas completas são necessárias.

### Submissão de manuscrito

**Submissão de manuscrito:** A submissão de um manuscrito implica que o trabalho descrito não tenha sido publicado anteriormente; que não está sendo considerada para publicação em nenhum outro lugar; que a sua publicação tenha sido aprovada por todos os coautores, se houver, bem como pelas autoridades responsáveis – tácita ou explicitamente – do instituto onde o trabalho foi realizado. O editor não será legalmente responsável caso haja qualquer pedido de compensação.

**Permissões:** Os autores que desejam incluir figuras, tabelas ou passagens de texto que já foram publicadas em outro lugar são obrigados a obter permissão do(s) proprietário(s) dos direitos autorais para o formato impresso e on-line e incluir evidências de que tal permissão foi concedida ao enviar seus artigos. Qualquer material recebido sem tal evidência será considerado originário dos autores.

**Envio on-line:** Por favor, siga o hiperlink “Enviar manuscrito” e carregue todos os arquivos do seu manuscrito seguindo as instruções fornecidas na tela.

**Arquivos Fonte:** Certifique-se de fornecer todos os arquivos de origem editáveis relevantes em cada envio e revisão. O não envio de um conjunto completo de arquivos de origem editáveis fará com que seu artigo não seja considerado para revisão. Para o texto do seu manuscrito, envie sempre em formatos comuns de processamento de texto, como .docx ou LaTeX.

**Envio de declarações:** Observe que as informações [de contribuição do autor](#) e [de interesse concorrente](#) devem ser fornecidas no envio por meio da interface de envio. Somente as informações submetidas através da interface serão utilizadas na versão final publicada. Certifique-se de que, se você for membro do conselho editorial e também um autor listado, também declare essas informações na seção Interesse Concorrente da interface. Consulte as seções relevantes nas diretrizes de submissão para

obter mais informações sobre essas declarações, bem como sobre possíveis outras declarações obrigatórias.

## Folha de rosto

Certifique-se de que sua página de título contenha as seguintes informações.

**Título:** O título deve ser conciso e informativo.

Informação sobre o autor

O(s) nome(s) do(s) autor(es)

A(s) afiliação(ões) do(s) autor(es), ou seja, instituição, (departamento), cidade, (estado), país

Uma indicação clara e um endereço de e-mail ativo do autor correspondente

[Se disponível, o ORCID](#) de 16 dígitos do(s) autor(es)

Se as informações de endereço forem fornecidas com a(s) afiliação(ões), elas também serão publicadas. Para autores que não sejam (temporariamente) afiliados, capturaremos apenas a cidade e o país de residência, e não o endereço de e-mail, a menos que seja especificamente solicitado.

**Abstrato:** Forneça um resumo de 150 a 250 palavras. O resumo não deve conter abreviaturas indefinidas ou referências não especificadas.

**Palavras-chave:** Forneça de 4 a 6 palavras-chave que possam ser usadas para fins de indexação.

## Texto

### Formatação de texto

- Os manuscritos deverão ser submetidos em Word.
- Use uma fonte normal e simples (por exemplo, Times Roman de 10 pontos) para o texto.
- Use itálico para dar ênfase.
- Use a função de numeração automática de páginas para numerar as páginas.
- Não use funções de campo.
- Use tabulações ou outros comandos para recuos, não a barra de espaço.
- Use a função de tabela, e não planilhas, para criar tabelas.
- Use o editor de equações ou MathType para equações.
- Salve seu arquivo em formato docx (Word 2007 ou superior) ou formato doc (versões mais antigas do Word).

Manuscritos com conteúdo matemático também podem ser submetidos em LaTeX. Recomendamos usar [o modelo LaTeX da Springer Nature](#).

**Títulos:** Utilize no máximo três níveis de títulos exibidos.

**Abreviações:** As abreviaturas devem ser definidas na primeira menção e usadas de forma consistente a partir de então.

**Notas de rodapé:** As notas de rodapé podem oferecer informações adicionais, como referências, mas não devem se limitar a isso ou conter detalhes bibliográficos. Elas não devem incluir figuras ou tabelas e devem ser numeradas consecutivamente no texto, com letras minúsculas sobrescritas em tabelas. As notas de rodapé no título ou nos autores não recebem símbolos de referência, e é preferível usar notas de rodapé em vez de notas finais.

**Agradecimentos:** Agradecimentos a pessoas, subsídios, fundos, etc. devem ser colocados em uma seção separada na página de título. Os nomes das organizações financiadoras devem ser escritos por extenso.

## Referências

### Citação

Citar as referências no texto por nome e ano entre parênteses. Alguns exemplos:

A pesquisa em negociação abrange muitas disciplinas (Thompson 1990).

Este resultado foi posteriormente desmentido por Becker e Seligman (1996).

Este efeito foi amplamente estudado (Abbott 1991; Barakat et al. 1995a, b; Kelso e Smith 1998; Medvec et al. 1999, 2000).

### Lista de referência

A lista de referências deverá incluir apenas trabalhos citados no texto e que tenham sido publicados ou aceitos para publicação. Comunicações pessoais e trabalhos inéditos deverão ser mencionados apenas no texto. As entradas da lista de referências devem ser organizadas em ordem alfabética pelos sobrenomes do primeiro autor de cada trabalho. Por favor, coloque-os em ordem alfabética de acordo com as seguintes regras: 1) Para um autor, por nome do autor e depois cronologicamente; 2) Para dois autores, por nome do autor, depois nome do coautor e depois cronologicamente; 3) Para mais de dois autores, pelo nome do primeiro autor, depois cronologicamente. Se disponível, inclua sempre DOIs como links completos de DOI em sua lista de referências (por exemplo, “<https://doi.org/abc>”).

### artigo de jornal

Gamelin FX, Baquet G, Berthoin S, Thevenet D, Nourry C, Nottin S, Bosquet L (2009) Efeito do treinamento intermitente de alta intensidade na variabilidade da frequência cardíaca em crianças pré-púberes. *Eur J Appl Physiol* 105:731-738. <https://doi.org/10.1007/s00421-008-0955-8>

Idealmente, os nomes de todos os autores devem ser fornecidos, mas também será aceito o uso de “et al” em longas listas de autores:

Smith J, Jones M Jr, Houghton L et al (1999) Futuro do seguro saúde. *N Engl J Med* 341:325–329

### Artigo por DOI

Slifka MK, Whitton JL (2000) Implicações clínicas da produção desregulada de citocinas. J Mol Med. <https://doi.org/10.1007/s001090000086>

### **Livro**

South J, Blass B (2001) O futuro da genômica moderna. Blackwell, Londres

### **Capítulo de livro**

Brown B, Aaron M (2001) A política da natureza. In: Smith J (ed) A ascensão da genômica moderna, 3ª ed. Wiley, Nova York, pp 230-257

### **Documento on-line**

Cartwright J (2007) As grandes estrelas também têm clima. Publicação IOP PhysicsWeb. <http://physicsweb.org/articles/news/11/6/16/1>. Acessado em 26 de junho de 2007

### **Dissertação**

Trent JW (1975) Insuficiência renal aguda experimental. Dissertação, Universidade da Califórnia

Sempre use a abreviatura padrão do nome de um periódico de acordo com a lista ISSN de abreviações de palavras de título, consulte

### **ISSN LTDA**

Se não tiver certeza, use o título completo do periódico.

## **Declarações e Declarações**

As seguintes declarações devem ser incluídas no manuscrito submetido sob o título 'Declarações e Declarações'. Deve ser colocado após a seção Referências. Observe que os envios que não incluírem as declarações obrigatórias serão devolvidos como incompletos.

**Financiamento:** Por favor, descreva quaisquer fontes de financiamento que apoiaram o trabalho. A declaração deve incluir detalhes de quaisquer subsídios recebidos (forneça o nome da agência financiadora e o número do subsídio).. ”

**Interesses competitivos:** Os autores são obrigados a divulgar interesses financeiros ou não financeiros que estejam direta ou indiretamente relacionados com o trabalho submetido para publicação. Deverão ser relatados interesses nos últimos 3 anos desde o início do trabalho (realização da pesquisa e preparação do trabalho para submissão). Interesses fora do prazo de 3 anos devem ser divulgados se puderem ser razoavelmente percebidos como influenciando o trabalho submetido.

**Contribuições do autor:** Os autores são incentivados a incluir uma declaração que especifique a contribuição de cada autor para a pesquisa e preparação do manuscrito.

**Disponibilidade de dados:** A revista encoraja os autores a fornecerem uma declaração opcional de disponibilidade de dados em seus artigos. Essas declarações devem indicar onde os dados que sustentam os resultados do artigo podem ser acessados, incluindo



links para conjuntos de dados arquivados publicamente, quando aplicável. Os autores também podem indicar se os dados estão disponíveis mediante solicitação e, se não estiverem disponíveis, devem declarar isso, se apropriado.

## **Tabelas**

Todas as tabelas devem ser numeradas com algarismos arábicos.

As tabelas devem ser sempre citadas no texto em ordem numérica consecutiva.

Para cada tabela, forneça uma legenda (título) explicando os componentes da tabela.

Identifique qualquer material publicado anteriormente, fornecendo a fonte original na forma de uma referência no final da legenda da tabela.

As notas de rodapé das tabelas devem ser indicadas por letras minúsculas sobrescritas (ou asteriscos para valores de significância e outros dados estatísticos) e incluídas abaixo do corpo da tabela.

## **Diretrizes para arte e ilustrações**

### **Envio de Figura Eletrônica**

Forneça todos os valores eletronicamente.

Indique qual programa gráfico foi utilizado para criar a arte.

Para gráficos vetoriais, o formato preferido é EPS; para meios-tons, use o formato TIFF. Arquivos MSOffice também são aceitáveis.

Os gráficos vetoriais contendo fontes devem ter as fontes incorporadas nos arquivos.

Nomeie seus arquivos de figura com "Fig" e o número da figura, por exemplo, Fig1.eps.

### **Letras de Figuras**

Para adicionar letras, é melhor usar Helvetica ou Arial (fontes sem serifa).

Mantenha as letras com tamanhos consistentes em todo o seu trabalho artístico de tamanho final, geralmente cerca de 2–3 mm (8–12 pt).

A variação do tamanho do tipo em uma ilustração deve ser mínima, por exemplo, não use fonte de 8 pt em um eixo e fonte de 20 pt para o rótulo do eixo.

Evite efeitos como sombreamento, contorno de letras, etc.

Não inclua títulos ou legendas em suas ilustrações.

### **Numeração de Figura**

Todas as figuras devem ser numeradas em algarismos arábicos.

As figuras devem ser sempre citadas no texto em ordem numérica consecutiva.

As partes da figura devem ser indicadas por letras minúsculas (a, b, c, etc.).

Caso apareça um apêndice em seu artigo que contenha uma ou mais figuras, continue a numeração consecutiva do texto principal. Não numere as figuras do apêndice, "A1, A2, A3, etc." As figuras nos apêndices online [Informações Suplementares (SI)] devem, no entanto, ser numeradas separadamente.

### **Legendas de figuras**

Cada figura deve ter uma legenda concisa descrevendo com precisão o que a figura representa. Incluir as legendas no arquivo de texto do manuscrito e não no arquivo de figuras.

As legendas das figuras iniciam com o termo Fig. em negrito, seguido do número da figura, também em negrito.

Nenhuma pontuação deve ser incluída após o número, nem qualquer pontuação deve ser colocada no final da legenda.

Identifique todos os elementos encontrados na figura na legenda da figura; e usar caixas, círculos, etc., como pontos coordenados em gráficos.

Identifique o material publicado anteriormente, fornecendo a fonte original na forma de uma citação de referência no final da legenda da figura.

### **Colocação e tamanho da figura**

As figuras deverão ser apresentadas no corpo do texto. Somente se o tamanho do arquivo do manuscrito causar problemas no upload, as figuras grandes deverão ser submetidas separadamente do texto.

Ao preparar suas figuras, dimensione-as para caber na largura da coluna.

Para periódicos de grande porte, as figuras devem ter largura de 84 mm (para áreas de texto de coluna dupla) ou 174 mm (para áreas de texto de coluna única) e não superiores a 234 mm.

Para revistas de pequeno porte, os números devem ter 119 mm de largura e não ultrapassar 195 mm.

### **Informações Suplementares (SI)**

A Springer aceita arquivos eletrônicos multimídia e outros complementos para serem publicados online junto com artigos ou capítulos de livros. Isso pode enriquecer o conteúdo, especialmente para informações que não podem ser impressas ou são mais convenientes em formato eletrônico. Antes de enviar conjuntos de dados como Informação Suplementar, os autores devem revisar a política de dados da revista e são encorajados a arquivar os dados em repositórios sempre que possível.

### **Submissão**

Forneça todo o material suplementar em formatos de arquivo padrão.

Por favor inclua em cada arquivo as seguintes informações: título do artigo, nome do periódico, nomes dos autores; filiação e endereço de e-mail do autor correspondente.

Para acomodar downloads de usuários, lembre-se de que arquivos maiores podem exigir tempos de download muito longos e que alguns usuários podem enfrentar outros problemas durante o download.

Vídeos de alta resolução (qualidade streamable) podem ser enviados com no máximo 25 GB; vídeos de baixa resolução não devem ser maiores que 5 GB.

Áudio, vídeo e animações

Proporção: 16:9 ou 4:3

Tamanho máximo do arquivo: 25 GB para arquivos de alta resolução; 5 GB para arquivos de baixa resolução

Duração mínima do vídeo: 1 segundo

Formatos de arquivo suportados: avi, wmv, mp4, mov, m2p, mp2, mpg, mpeg, flv, mxf, mts, m4v, 3gp

### **Texto e Apresentações**

Envie seu material em formato PDF; Arquivos .doc ou .ppt não são adequados para viabilidade a longo prazo.

Uma coleção de figuras também pode ser combinada em um arquivo PDF.

### **Planilhas**

As planilhas devem ser enviadas como arquivos .csv ou .xlsx (MS Excel).

Formatos especializados

Formatos especializados como .pdb (químico), .wrl (VRML), .nb (caderno Mathematica) e .tex também podem ser fornecidos.

### **Coletando vários arquivos**

É possível coletar vários arquivos em um arquivo .zip ou .gz.

### **Numeração**

No caso de fornecimento de material suplementar, o texto deverá fazer menção específica ao material como citação, semelhante ao de figuras e tabelas.

Consulte os arquivos suplementares como “Recurso Online”, por exemplo, "... conforme mostrado na animação (Recurso Online 3)", "...dados adicionais são fornecidos no Recurso Online 4”.

Nomeie os arquivos consecutivamente, por exemplo, “ESM\_3.mpg”, “ESM\_4.pdf”.

Legendas

Para cada material suplementar, forneça uma legenda concisa descrevendo o conteúdo do arquivo.

### **Processamento de arquivos suplementares**

As Informações Suplementares (SI) serão publicadas conforme recebidas do autor, sem qualquer conversão, edição ou reformatação.

**Acessibilidade**

Para permitir que pessoas de todas as capacidades e deficiências tenham acesso ao conteúdo dos seus arquivos suplementares, certifique-se de que

O manuscrito contém uma legenda descritiva para cada material suplementar

Os arquivos de vídeo não contêm nada que pisque mais de três vezes por segundo (para que usuários propensos a convulsões causadas por tais efeitos não corram risco)

Para mais informações: <https://link.springer.com/journal/10531/submission-guidelines>