



Universidade de Brasília
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Ecologia

*A influência da urbanização na paisagem
acústica e o conhecimento de estudantes
da educação básica sobre a ecologia das
aves*

Angela Dutra Araujo

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Bomfim Machado

Brasília – DF

2021

*A influência da urbanização na paisagem
acústica e o conhecimento de estudantes da
educação básica sobre a ecologia das aves*

Angela Dutra Araujo

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Bomfim Machado

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ecologia da Universidade de
Brasília como requisito para a
obtenção do grau de Mestre em
Ecologia.

Brasília – DF

2021

ANGELA DUTRA ARAUJO

A influência da urbanização na paisagem acústica e o conhecimento de
estudantes da educação básica sobre a ecologia das aves

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Ricardo B. Machado
Orientador – UnB

Prof. Dr. Murilo Sversut Dias
Membro Titular – UnB

Prof^a. Dr^a. Camila Palhares Teixeira
Membro Titular (externo) - UEMG

Prof. Dr. Pedro Henrique Brum Togni
Suplente – UnB

Brasília, dezembro de 2021

Dedicatória

À minha avó materna, Josefa Pereira Dutra (*in memoriam*), que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e acreditando em mim mesmo não entendendo bem o que era que eu tanto estudava, mas sempre entendendo a importância dos meus passos para um futuro melhor.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação em Ecologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília, por permitir e proporcionar que tantos projetos de tão grande relevância sejam realizados dentro e fora dos limites do DF e até do Brasil.

À minha vizinha, Josefa Pereira Dutra, que me deu tanto apoio em diversas situações pelas quais passei e que, tenho certeza, estaria muito feliz vendo a minha felicidade em cada etapa desse processo que estou finalizando.

À minha filha, Aisha Vieira Dutra, por quem continuo a caminhar e que me mantém ativa como pessoa e como profissional para ser guia e exemplo do caminho que ela escolher trilhar como ser humano e como profissional.

À minha mãe, Maria do Carmo Dutra Araujo, que mesmo com tantas dificuldades, nunca deixou de me proporcionar a possibilidade de estudar, mesmo depois de adulta, me proporcionando chegar até a minha graduação em Biologia, dando o máximo de si em seu trabalho diário e pesado. Mas agradeço também ao Senhor Roberto Velloso, que tanto ajudou com cópias de materiais para que eu pudesse estudar durante a minha graduação e com todo apoio dado à minha mãe durante esse período.

Ao meu orientador, Ricardo B. Machado, que foi paciente e que me ajudou na elaboração dessa dissertação, me auxiliando e me mostrando o caminho da independência para aprender e construir os diferentes processos desse trabalho. Além disso, agradeço por sempre se dispor a me acompanhar nos campos, não importando se era dia de calor ou de chuva. Muito obrigada pelos conhecimentos compartilhados, pelas conversas e por todo auxílio que me deu durante a construção desse trabalho.

Ao Pedro de Moraes, que há alguns anos fez toda diferença para que eu tivesse minha primeira participação no Congresso Brasileiro de Ornitologia; ao Rodrigo Borges, que incentivou e me ensinou tanto durante seu mestrado; à Lia N. Kajiki, que, além de todos os conhecimentos que me passou em campo, também me ajudou com dicas para solucionar algumas das dificuldades de parte do projeto que culminou nessa dissertação.

À Agda, que encontrei por acaso no desespero de entender melhor alguns conceitos estatísticos e os caminhos a serem trilhados no tão desesperador programa denominado por uma única letrinha, o “R”, que, hoje, já não é tão assustador como foi no início de tudo.

Ao Edgar, que se dispôs a me ajudar sempre que o procurei, me ajudando com algumas dúvidas sobre o R, além de sempre tentar me animar com frases do tipo: “Isso mesmo!! Tá vendo como você sabe?!”.

Ao meu amigo Gustavo Kanzaki, com suas dicas sobre escrita, suas sugestões sobre a execução do projeto voltado para a educação e claro, por sua estimada amizade, que nesses dois últimos anos foi sem contato presencial, mas que fez toda diferença nos momentos de conversa. E, claro, àquele que esteve bastante presente nos últimos 8 anos da minha vida: meu amigo Giuseppe Motta Marenada. Um amigo para os momentos de festas, choros e de aflições.

À Alexandra Martins, que, mesmo à distância, se tornou uma grande amiga e esteve bastante presente durante o último semestre deste ciclo que estou fechando agora.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Murilo Sversut, Prof^a. Dr^a. Camila Teixeira e Prof. Dr. Pedro Togni, por terem aceitado o convite para compor essa banca.

A todas e todos as/os docentes que me proporcionaram momentos de muito aprendizado, mostrando que, mesmo remotamente, é possível proporcionar aulas de excelente qualidade.

Entre os docentes, faço um agradecimento especial ao professor Miguel Ângelo Marini, que, há alguns anos, permitiu que eu participasse como aluna especial na disciplina de Ornitologia, da qual resultou a minha primeira apresentação oral no Congresso Brasileiro de Ornitologia.

À Secretaria de Educação do Distrito Federal que me concedeu uma licença para estudos, tornando possível minha dedicação exclusiva à realização dessa etapa acadêmica tão importante para minha formação.

Não posso deixar de citar as colegas de curso, com as quais aprendi bastante durante a realização das disciplinas. Mesmo tendo cursado a maioria delas remotamente, tivemos muitas trocas que me ajudaram a melhorar na escrita e na criação dos slides elaborados para os vários seminários que apresentamos durante esses últimos dois anos. Deixo registrado um agradecimento especial à Natália Bijos, que teve uma participação importante lá no início, quando ainda podíamos nos encontrar para as aulas.

A todas e todos vocês, o meu muito obrigada! Vocês tiveram uma grande relevância na minha chegada até aqui.

Sumário

Introdução Geral	9
Referências Bibliográficas	12
Capítulo 1: Gradientes urbanos e sua influência sobre as comunidades acústicas de um <i>hotspot</i> de biodiversidade	
Resumo	16
Abstract	17
1. Introdução	19
2. Material e métodos	24
2.1. Área de estudo.....	24
2.1.1. Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília (EEJBB)	26
2.1.2. Parque Nacional de Brasília.....	27
2.1.3. Plano Piloto de Brasília.....	27
2.1.4. Sobradinho (Sob)	28
2.1.5. São Sebastião	28
2.2. Coleta de dados	29
2.3. Métricas da paisagem	29
2.4. Análise dos dados acústicos	32
2.4.1. Índice da Diversidade Acústica.....	34
2.4.2. Índice da Complexidade Acústica.....	35
2.4.3. Índice de Normalidade da Paisagem Acústica	36
2.4.4. Índice de Entropia Acústica	36
2.4.5. Índice Bioacústico.....	37
2.5. Análises estatísticas.....	37
3. Resultados	38
3.1. Características das regiões de amostragem	38
3.2. Variação dos índices acústicos nos ambientes.....	41
3.3. Efeito das métricas de paisagem sobre os índices acústicos	42
4. Discussão	45
4.1. Resposta dos índices acústicos ao gradiente urbano.....	46
4.2. Importância das áreas naturais no mosaico urbano.....	49
Conclusão	52

Referências Bibliográficas	53
Capítulo 2: O conhecimento que estudantes da educação básica têm sobre as aves	
Resumo	71
Abstract	71
1. Introdução	73
2. Material e métodos.....	76
2.1. Área de estudo.....	76
2.2. Coleta de dados	76
2.3. Análises estatísticas.....	78
3. Resultados	78
3.1. Questionários	78
3.2. Propostas pedagógicas.....	81
4. Discussão	83
4.1. Resultados dos questionários	84
4.2. Importância da realização de atividades diferenciadas para o aprendizado.....	86
Conclusão	88
Referências Bibliográficas	90
Anexo 1	94

Introdução geral

A substituição de áreas nativas por áreas antropicamente modificadas tem aumentado cada vez mais no Brasil (Novaes et al., 2017; Sperandelli et al., 2013; Zalles et al., 2019). Com a diminuição de habitats naturais, ocorre uma mudança na estrutura das comunidades locais, levando à diminuição da riqueza de espécies (Flores-Meza et al., 2013; Morante-Filho et al., 2015; Reis et al., 2012). Um dos motivos dessa diminuição de espécies, além da perda de habitats, é a poluição sonora causada pelos ruídos urbanos. Esse é um tipo de poluição que impacta fortemente a avifauna presente nos ambientes próximos das áreas urbanas (Dowling et al., 2012; Francis et al., 2009; Slabbekoorn & Peet, 2003). Uma forma de estudar o impacto da poluição sonora sobre as aves é com o uso da bioacústica, uma ferramenta que prima por ser uma abordagem não invasiva e que permite a obtenção de um grande número de dados sobre as comunidades de aves locais em um curto período (Acevedo & Villanueva-Rivera, 2006).

O Cerrado, mesmo sendo o segundo maior bioma do Brasil e um dos principais *hotspots* mundiais de conservação (Myers et al., 2000), vem sendo cada vez mais degradado. Sua área original era de mais de 2 milhões de quilômetros quadrados, entretanto, estima-se que esse bioma já tenha perdido quase 50% da sua área total em decorrência do desmatamento (PMDBBS/MMA 2015). Dessa forma, a preocupação com o bioma vem aumentando cada vez mais e a realização de pesquisas sobre os impactos que o atingem também (Cardoso Da Silva & Bates, 2002; Coelho et al., 2020).

Uma das unidades federativas do Brasil inserida no bioma Cerrado é o Distrito Federal (DF). Brasília, capital do Brasil, é sua primeira cidade planejada e foi inaugurada em abril de 1960, com planejamento inicial para abrigar uma população entre 500 e 700 mil habitantes (Vasconcelos et al., 2006). Entretanto, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), Brasília, já possui uma população com mais de

3,0 milhões de pessoas, resultado de um acelerado crescimento demográfico e urbano que pode resultar em impactos ambientais que atingem a riqueza de aves presente no Cerrado (Souza et al., 2019). Dessa forma, é importante que sua população compreenda a importância da conservação das espécies desse bioma, uma vez que essas são provedoras de serviços ecossistêmicos como, por exemplo, a disseminação de sementes, o controle de insetos e a polinização, sendo, assim, contribuintes do bem estar humano.

Diante do exposto anteriormente e devido à importância da conservação e preservação de áreas de matas nativas, é importante que estudantes da educação básica compreendam melhor a importância ecológica do cerrado e das espécies presentes nele. Algumas formas de trabalhar isso é com a observação de aves, uma atividade que pode ser realizada em zoológicos, museus ou na própria escola (Vieira et al., 2005). Além disso, existe a possibilidade de se levar peças taxidermizadas, imagens/vídeos ou áudios do canto dos diferentes tipos de aves para a sala de aula (Allenspach & Zuin, 2013). Ademais, a população como um todo deveria conhecer a importância das aves na preservação de áreas de conservação, o que pode ser realizado levando essas informações para dentro da sala de aula do ensino básico.

A partir das informações expostas, é importante que sejam realizados mais estudos voltados para a influência do crescimento urbano sobre espécies aviárias presentes nas áreas pertencentes ao DF. Assim, pode-se tentar atenuar os impactos desse crescimento com o incentivo para criação de políticas ambientais voltadas para o manejo de coberturas vegetais, já que quanto maior for a cobertura vegetal de uma área, maior é a tendência do aumento da riqueza de espécies (Joo et al., 2011; Munyenyembe et al., 1989). Esse aumento na riqueza de espécies pode ser justificada, por exemplo, pela maior oferta de recursos alimentares (Ferber et al., 2014) e porque a vegetação funciona como uma barreira física efetiva na atenuação da poluição sonora (Margaritis et al., 2018;

Mohammadi Galangash et al., 2020). Juntamente com essas ações, trabalhos realizados com estudantes da educação básica são importantes para a conscientização e incentivo da participação de comunidades locais na conservação e preservação das áreas naturais (de França & Guimarães, 2014).

Levando em consideração as informações supracitadas, para a elaboração desse trabalho foram desenvolvidos dois capítulos. O primeiro deles teve por objetivo analisar as características das paisagens acústicas em função de um gradiente ambiental formado por áreas nativas, rurais e urbanas e o segundo, verificar se há diferença no nível de conhecimento de estudantes da educação básica do Distrito Federal sobre a ecologia da avifauna e sobre as espécies de aves presentes nessa região. Dessa forma, como aves e seres humanos estão concomitantemente presentes em áreas rurais e urbanas, esse estudo permitiu entender melhor como as aves respondem a esses ambientes e como os seres humanos entendem os aspectos ecológicos existentes entre esses ambientes e as aves.

No primeiro capítulo fiz um estudo sobre a paisagem acústica que compõem os ambientes naturais, rurais e urbanos de um gradiente presente no DF utilizando gravadores digitais para a coleta de dados amostrais. No segundo capítulo, com a aplicação de um questionário, realizarei um levantamento sobre os conhecimentos que estudantes da rede pública de ensino do DF têm sobre ecologia das aves e sobre aves presentes na região do DF. Além disso, estudei as propostas pedagógicas das escolas participantes da pesquisa e fiz um levantamento das atividades pedagógicas realizadas por elas, observando se havia projetos pedagógicos voltados para o ensino de ecologia, especialmente ecologia da avifauna. Por fim, verifiquei se as atividades realizadas nas escolas influenciam no aumento do aprendizado dos estudantes sobre a ecologia das aves.

Referências

- _____. IBGE divulga as estimativas da população dos municípios para 2019. <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25278-ibge-divulga-as-estimativas-da-populacao-dos-municipios-para-2019> Acessado em 24 de outubro de 2020.
- Acevedo, M. A., & Villanueva-Rivera, L. J. (2006). Using Automated Digital Recording Systems as Effective Tools for the Monitoring of Birds and Amphibians. *Wildlife Society Bulletin*, 34(1), 211–214. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[211:UADRSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[211:UADRSA]2.0.CO;2)
- Allenspach, N., & Zuin, P. B. (2013). *Aves como subsídio para a Educação Ambiental: Perfil das iniciativas brasileiras*. 8.
- Cardoso Da Silva, J. M., & Bates, J. M. (2002). Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. *BioScience*, 52(3), 225. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)
- Coelho, A. J. P., Magnago, L. F. S., Matos, F. A. R., Mota, N. M., Diniz, É. S., & Meira-Neto, J. A. A. (2020). Effects of anthropogenic disturbances on biodiversity and biomass stock of Cerrado, the Brazilian savanna. *Biodiversity and Conservation*, 29(11–12), 3151–3168. <https://doi.org/10.1007/s10531-020-02013-6>
- de França, P. A. R., & Guimarães, M. da G. V. (2014). A educação ambiental nas Escolas Municipais de Manaus (AM): Um estudo de caso a partir da percepção dos discentes. *Revista Monografias Ambientais*, 14(2), 3128–3138. <https://doi.org/0.5902/2236130812020>
- Dowling, J. L., Luther, D. A., & Marra, P. P. (2012). Comparative effects of urban development and anthropogenic noise on bird songs. *Behavioral Ecology*, 23(1), 201–209. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr176>
- Ferger, S. W., Schleuning, M., Hemp, A., Howell, K. M., & Böhning-Gaese, K. (2014). Food resources and vegetation structure mediate climatic effects on species richness of birds: Climate and bird species richness. *Global Ecology and Biogeography*, 23(5), 541–549. <https://doi.org/10.1111/geb.12151>

- Flores-Meza, S., Katunaric-Nuñez, M., Rovira-Soto, J., & Rebolledo-González, M. (2013). Identificación de áreas favorables para la riqueza de fauna vertebrada en la zona urbana y periurbana de la Región Metropolitana, Chile. *Revista chilena de historia natural*, 86(3), 265–278. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2013000300004>
- Francis, C. D., Ortega, C. P., & Cruz, A. (2009). Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions. *Current Biology*, 19(16), 1415–1419. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.06.052>
- IBGE, I. B. de G. e E. (2020). *Territórios e Ambiente* [Governamental]. IBGE. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>
- Joo, W., Gage, S. H., & Kasten, E. P. (2011). Analysis and interpretation of variability in soundscapes along an urban–rural gradient. *Landscape and Urban Planning*, 103(3–4), 259–276. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.08.001>
- Margaritis, E., Kang, J., Filipan, K., & Botteldooren, D. (2018). The influence of vegetation and surrounding traffic noise parameters on the sound environment of urban parks. *Applied Geography*, 94, 199–212. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.017>
- Mohammadi Galangash, M., Nikkhah, P., & Nikooy, M. (2020). The effect of tree covers on reducing noise pollution load in Saravan Forest Park, Guilan Province, Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(1). <https://doi.org/10.22124/cjes.2020.3980>
- Morante-Filho, J. C., Faria, D., Mariano-Neto, E., & Rhodes, J. (2015). Birds in Anthropogenic Landscapes: The Responses of Ecological Groups to Forest Loss in the Brazilian Atlantic Forest. *PLOS ONE*, 10(6), e0128923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128923>
- Munyenyembe, F., Harris, J., Hone, J., & Nix, H. (1989). Determinants of bird populations in an urban area. *Austral Ecology*, 14(4), 549–557. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1989.tb01460.x>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>

- Novaes, R. M. L., Pazianotto, R. A. A., Brandão, M., Alves, B. J. R., May, A., & Folegatti-Matsuura, M. I. S. (2017). Estimating 20-year land-use change and derived CO₂ emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. *Global Change Biology*, 23(9), 3716–3728. <https://doi.org/10.1111/gcb.13708>
- Reis, E., López-Iborra, G. M., & Pinheiro, R. T. (2012). Changes in bird species richness through different levels of urbanization: Implications for biodiversity conservation and garden design in Central Brazil. *Landscape and Urban Planning*, 107(1), 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.04.009>
- Slabbekoorn, H., & Peet, M. (2003). Birds sing at a higher pitch in urban noise. *Nature*, 424(6946), 267–267. <https://doi.org/10.1038/424267a>
- Souza, F. L., Valente-Neto, F., Severo-Neto, F., Bueno, B., Ochoa-Quintero, J. M., Laps, R. R., Bolzan, F., & Roque, F. D. O. (2019). Impervious Surface and Heterogeneity Are opposite Drivers to Maintain Bird Richness in a Cerrado City. *Landscape and Urban Planning*, 192.
- Sperandelli, D. I., Dupas, F. A., & Dias Pons, N. A. (2013). Dynamics of Urban Sprawl, Vacant Land, and Green Spaces on the Metropolitan Fringe of São Paulo, Brazil. *Journal of Urban Planning and Development*, 139(4), 274–279. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000154](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000154)
- Vasconcelos, A. M. N., Ferreira, I. C. B., Maciel, S. B., Gomes, M. M. F., & Catalão, I. de F. (2006). *Da utopia à realidade: Uma análise dos fluxos migratórios para o Aglomerado Urbano de Brasília* ♣. 18.
- Vieira, V., Bianconi, M. L., & Dias, M. (2005). Espaços não-formais de ensino e o currículo de ciências. *Ciência e Cultura*, 57(4), 21–23.
- Zalles, V., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Stehman, S. V., Tyukavina, A., Pickens, A., Song, X.-P., Adusei, B., Okpa, C., Aguilar, R., John, N., & Chavez, S. (2019). Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(2), 428–435. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810301115>

Capítulo 1: Gradientes urbanos e sua influência sobre as comunidades acústicas de um *hotspot* de biodiversidade

Resumo

A urbanização apresenta crescimento desenfreado e seus potenciais efeitos sobre a biodiversidade ainda são lacunas de conhecimento não preenchidas. A poluição sonora é um deles e pode ser estudada com o uso da bioacústica, uma ferramenta que prima por abordagens não invasivas e que permitem obter grande quantidade de dados no espaço e no tempo. O objetivo desse trabalho é avaliar as paisagens acústicas dos ambientes que compõem um gradiente urbano e sua influência na diversidade de aves. Para isso, avaliei o gradiente formado por áreas nativas, rurais e urbanas (de baixa e de alta densidade), relacionando as estruturas da paisagem (variáveis explicativas) com as paisagens acústicas desses ambientes. Utilizei cinco índices acústicos (variável resposta) como representantes da paisagem acústica de cada ambiente do gradiente (o Índice de Diversidade acústica – ADI – o Índice de Complexidade Acústica – ACI – o Índice Bioacústico – BI – o Índice de Entropia total – H – e o Índice Normalizado da Diferença da Paisagem Acústica – NDSI). Eu esperava que esses índices apresentassem valores decrescentes para áreas com maior importância da antropofonia, ou seja, no sentido áreas nativas para áreas urbanas de alta densidade. Calculei os índices a partir de gravações feitas com gravadores digitais programáveis distribuídos em 24 pontos estabelecidos no gradiente. Os gravadores estavam programados para gravar arquivos de 10 minutos com intervalos de 10 minutos entre eles (formato *wave*, monofônico, de 16 bits com 48 kHz) a partir de 30 minutos antes do nascer do sol até 2 horas depois. Realizei as gravações nos meses de fevereiro, outubro e dezembro de 2020, garantindo, assim, a coleta de dados em períodos chuvosos. Os resultados mostraram que o ADI (altamente correlacionado com a riqueza de aves), o H e o NDSI apresentaram valores crescentes com a proximidade de áreas naturais e o BI apresentou valores decrescentes. O ACI não apresentou correlação com as variáveis da estrutura da paisagem utilizadas neste estudo. Assim, os resultados encontrados demonstram a importância da manutenção de um mosaico formado por áreas urbanas e naturais em regiões tropicais.

Palavras-chave: Índices acústicos; Bioacústica; Cerrado; Áreas urbanas;

Heterogeneidade da paisagem.

Abstract

Urban areas are rapidly growing worldwide as the human population increases and tend to live in cities. One consequence is the decreasing of natural habitat quantity and quality, compromising biodiversity. Here, we evaluate how acoustic communities, characterized by acoustic indices, respond to a gradient of environments ranging from native areas to dense urban areas. We expect acoustic indices to vary according to the environmental gradient, i.e., they will present high value in native ecosystems and low values in an urban environment. We conducted our study in the Brasilia region, located in central Brazil. We deployed 24 digital recorders in native areas, rural areas, low-density, and high-density urban areas. We used the most used acoustic indices (Acoustic Diversity Index – ADI, Acoustic Complexity Index – ACI, Acoustic Entropy Index – H, Bioacoustic Index – BI, Acoustic Evenness Index – AEI, and Normalized Difference on Soundscape Index – NDSI) to test our hypothesis. We selected eight landscape metrics calculated in two different areas of extension around our sampling points to verify which metrics better explain the variation of acoustic indices. Our results show that ADI, H, and NDSI indices showed decreasing values from native to urban areas, although the BI index showed the opposite pattern. Landscape metrics, such as matrix heterogeneity, proximity to cerrado (woodland savanna), and proximity to forest areas, were positively correlated with the values of ADI, H, and NDSI indices, i.e., the greater the proximity, the greater the proximity are the values. In summary, we corroborate our working hypothesis, which

highlights the importance of maintaining natural areas mixed with urban areas in tropical regions.

Keywords: Acoustic indices; Bioacoustics; Cerrado; Urban areas; Landscape heterogeneity

1. Introdução

As áreas urbanas têm aumentado no mundo inteiro nas últimas décadas (Seto et al., 2011). Isso pode ser explicado devido ao crescimento populacional humano, que aumentou em mais de 40% nos últimos 30 anos (United Nations et al., 2019) e pode crescer mais de 30% até 2050 e mais de 50% até 2100 (Gerland et al., 2014). Com essa estimativa de que o crescimento das áreas urbanas acompanhe o crescimento populacional (United Nations et al., 2019), as áreas naturais tenderão a diminuir cada vez mais (Seto et al., 2012). uma vez que, além da expansão das áreas urbanas, tem-se também a expansão da agricultura, da pecuária (Novaes et al., 2017; Sperandelli et al., 2013; Zalles et al., 2019) e de áreas de mineração (Arboleda, 2016).

Todas as modificações do uso do solo levam a vários fatores que afetam a biodiversidade. Pode-se citar como exemplo a fragmentação da vegetação nativa com consequente perda de habitats, como vem acontecendo no Cerrado (Carvalho et al., 2009); a diminuição de corredores ecológicos (Jones et al., 2012; Kormann et al., 2016) e a invasão de espécies exóticas (Bottollier-Curtet et al., 2013; Michelan et al., 2018). Assim, muitas espécies de aves, por exemplo, deslocam-se para áreas antropicamente modificadas devido à perda ou diminuição de habitats. Isso acontece, pois algumas conseguem criar adaptações a esses novos ambientes (Flores-Meza et al., 2013; Morante-Filho et al., 2015).

Pesquisas realizadas em áreas antropicamente modificadas têm mostrado que a riqueza e a diversidade de espécies que compõem a avifauna é maior em ambientes naturais do que em ambientes urbanos (Abilhoa & Amorin, 2017; Filloy et al., 2019). Além disso, ao compará-las com áreas rurais, essas podem apresentar um aumento na diversidade de espécies, mesmo que o número de espécies nativas seja menor (Blair, 1996; van Heezik et al., 2008). Esse aumento da riqueza e da diversidade de espécies em

áreas rurais justifica-se por sua maior cobertura vegetal em relação às áreas urbanas, sendo possível observar característica semelhante em áreas urbanas (Mason, 2006) que apresentam jardins, parques e praças arborizadas. Esses espaços arborizados podem atenuar a queda da riqueza e da diversidade de espécies presentes nas áreas urbanas, funcionando como corredores ecológicos ou facilitadores de uma conexão entre as coberturas vegetais (Goddard et al., 2010). Dessa forma, percebe-se que o processo de crescimento da urbanização promove fortes efeitos na diversidade de aves, podendo ser negativos para espécies não tolerantes a ambientes urbanos, ou positivos para as que se adaptam a esses ambientes (Lizée et al., 2011). Vários estudos mostram que as aves são afetadas pela urbanização (Fernández-Juricic & Schroeder, 2003; Marzluff, 2001), sendo bastante utilizadas como modelos de estudo para avaliar os efeitos das paisagens urbanas na biodiversidade distribuída pelo mundo (Ortega-Álvarez & MacGregor-Fors, 2011).

Além das mudanças na cobertura vegetal, muitas ações antrópicas geram mudanças de comportamento das espécies presentes nas cidades, como, por exemplo, a construção de ninhos da avifauna em locais diferentes do habitual (Wang et al., 2015). Além das mudanças geradas por modificações nas estruturas da paisagem, as poluições geradas por resíduos sólidos ou resíduos químicos também causam modificações em hábitos comuns das espécies (Suárez-Rodríguez et al., 2017). Mas, além da poluição por resíduos sólidos ou químicos, as atividades humanas também geram poluição sonora (Kaiser & Hammers, 2009; Luther & Baptista, 2010), ou seja, ruídos indesejados que podem promover o deslocamento das espécies mais afetadas para áreas com menores taxas de perturbação (Proppe et al., 2013). Assim, torna-se relevante estudar como a biodiversidade pode ser menos afetada por ruídos produzidos a partir de ações antrópicas, pois eles podem causar alterações no comportamento e na dinâmica reprodutiva das aves que vivem próximas ou dentro das áreas urbanas (Barber et al., 2010; Farina, 2014).

Diante desse tipo de perturbação causada pelas áreas urbanizadas, a flexibilidade na comunicação acústica torna-se importante para que os sons produzidos pelos emissores cheguem até seus receptores. Essa flexibilização precisa ocorrer, pois, além de os emissores terem de enfrentar os ruídos ambientais, eles podem estar distantes dos receptores ou em locais com barreiras físicas naturais ou artificiais (como casas e edifícios) que podem dificultar a propagação dos sons emitidos (Brumm & Slabbekoorn, 2005). Como exemplo, podemos citar modificações no pico de frequência e nas frequências máximas e mínimas das vocalizações das aves presentes em áreas urbanas e, ainda, na amplitude dos sons emitidos por elas (G. C. Cardoso & Atwell, 2011; Slabbekoorn et al., 2012).

Para verificar a relação entre os ruídos produzidos em áreas urbanas e a biodiversidade de aves, muitas pesquisas têm sido realizadas de maneira efetiva com o uso de recursos da bioacústica, um ramo da Zoologia que estuda a emissão, propagação e recepção de sons produzidos por animais (Farina, 2014; Forti et al., 2019; Mathevon et al., 2008; Rossi-Santos, 2015). Para a realização desses estudos, a coleta de dados amostrais pode ser realizada com o uso de gravadores programáveis, que operam em horários pré-determinados e sem a necessidade da presença de observadores em campo (Scott Brandes, 2008). Por consequência, as amostragens não sofrem interferência com perturbações à fauna presente no local das gravações (Acevedo & Villanueva-Rivera, 2006; Jorge et al., 2018), como, por exemplo, a dispersão das espécies dos locais de gravação, além de possibilitar gravações simultâneas que favorecem maior número de amostragem no espaço e no tempo (Acevedo et al., 2009; Sueur, Pavoine, et al., 2008). Além disso, é possível gerar registros permanentes que podem ser reanalisados por especialistas (Zhao et al., 2017) ou mesmo reutilizados de maneira educativa em museus, escolas, zoológicos ou programas de televisão e similares (Ranft, 2004). Contudo, o

processamento dos registros obtidos com os gravadores podem ser trabalhosos devido um grande volume de dados (Farina et al., 2011)

Todo ambiente pode ser visto como sendo uma paisagem acústica composta por sons produzidos por animais (biofonia); sons gerados por componentes abióticos, como a chuva, cachoeiras ou o vento (geofonia); e sons provenientes de atividades antrópicas, como carros, motores e aviões (antropofonia) (Farina, 2014; Pijanowski et al., 2011). Com o estudo desses fatores acústicos relacionados às estruturas da paisagem, tem-se mostrado que modificações nos sistemas naturais afetam os ecossistemas (Stürck et al., 2015), a biodiversidade inserida neles (Peter et al., 2015) e, conseqüentemente, sua paisagem acústica (Tucker et al., 2014). Essa influência das mudanças no ambiente sobre a paisagem acústica pode ser analisada por meio da utilização de índices acústicos.

Os índices acústicos são representações numéricas que refletem a diversidade de espécies e permitem verificar o quanto duas ou mais paisagens acústicas diferem umas das outras, sejam elas de áreas naturais (Machado et al., 2017) ou de um gradiente urbano (Fairbrass et al., 2017). Além disso, eles ajudam a superar o problema do tempo necessário para analisar várias horas dos registros obtidos nas gravações realizadas para coleta de dados (Sueur, Pavoine, et al., 2008).

As aves estão entre as espécies que são fortemente impactadas pelos ruídos urbanos. Um dos motivos é a redução no tamanho das populações e, portanto, uma diminuição na riqueza e na diversidade das espécies em regiões afetadas pelos ruídos (Clergeau et al., 1998; Francis et al., 2009; Ortega-Álvarez & MacGregor-Fors, 2009; Proppe et al., 2013). Uma explicação pra essa redução das populações é a interferência dos ruídos na percepção da aproximação de predadores (Barber et al., 2010), tendo, também, uma forte influência na diminuição do sucesso reprodutivo de algumas espécies de aves, uma vez que elas dependem da comunicação para atraírem seus parceiros

reprodutivos (Forman et al., 2002; Kroodsma, 1976). Assim, uma forma de estudar o impacto desse tipo de poluição sobre elas é com o uso da bioacústica (Warren et al., 2006). Portanto, este estudo tem como objetivo avaliar a influência dos tipos de uso da terra na riqueza de aves presentes no gradiente urbano do DF. Para isso, utilizei índices que quantificam a diversidade acústica e que estão fortemente correlacionados com o número de vocalizações da avifauna presente na paisagem (Pieretti et al., 2011), sendo, portanto, bons indicadores da qualidade ambiental, fazendo uma estimativa da biodiversidade e da antropofonia presentes no ambiente.

Os índices acústicos são calculados a partir de métricas como amplitude e frequência dos sons, riqueza acústica, equitabilidade e heterogeneidade da paisagem acústica que compõe os ambientes estudados (Sueur et al., 2014). Dessa forma, esses índices foram utilizados para fazer estimativas do nível de complexidade da paisagem acústica dos ambientes e de como as áreas urbanas as têm modificado nas áreas pertencentes ao gradiente analisado. Esses índices são: o Índice de Diversidade acústica (ADI) (Villanueva-Rivera et al., 2011), o Índice de Complexidade Acústica (ACI) (Pieretti et al., 2011), o Índice da Diferença Normalizada da Paisagem Acústica (NDSI) (Kasten et al., 2012), o Índice de Equitabilidade Acústica (AEI) (Villanueva-Rivera et al., 2011), o Índice de Entropia total (H) (Sueur, Pavoine, et al., 2008) e o Índice Bioacústico (BI) (Boelman et al., 2007). Minha expectativa é de obter valores decrescentes para os índices acústicos de acordo com o gradiente urbano (no sentido áreas nativas até áreas urbanas de alta densidade), ou seja, que a biofonia terá correlação negativa com o gradiente urbano, o que será verificado analisando as características da paisagem em torno dos pontos de amostragem (Fig. 1). Além disso, espero que a taxa de cobertura vegetal

tenha influência sobre os valores desses índices, de forma que quanto maior for a cobertura vegetal, maior será a tendência em obter valores altos para os índices.

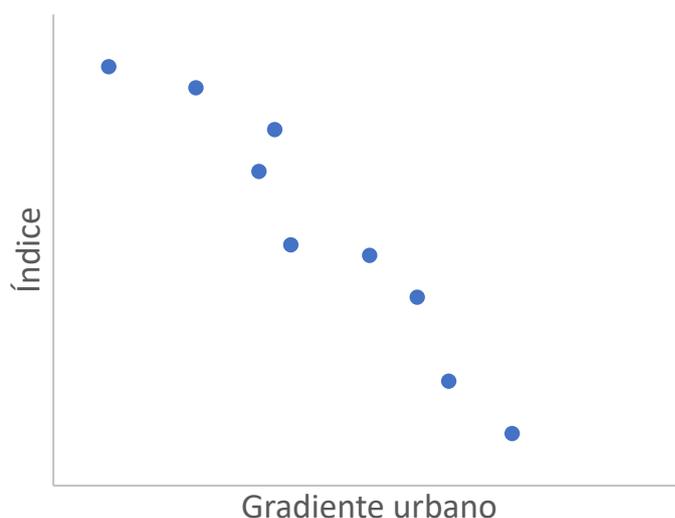


Fig. 1: Representação gráfica da hipótese para os resultados dos valores dos índices acústicos nos ambientes que compõem o gradiente urbano (natural – rural – urbano de baixa densidade – urbano de alta densidade).

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

Desenvolvi a pesquisa no Distrito Federal (DF), localizado na região central do Brasil, limitado entre os paralelos de 15°56' e 16°06' Lat S e os meridianos de 47°30' e 48°28' Long W (Fig. 2). O DF possui superfícies planas ou pouco onduladas e ocupa uma área de 5.760,784 km² (IBGE, 2020). Segundo a Classificação de Köppen-Geiger, simplificada por Setzer, o clima da região é Tropical do tipo Aw, ou seja, tropical com estação seca no inverno (M. R. D. Cardoso & Marcuzzo, 2014; Peel et al., 2007). Sua altitude varia de 850 a cerca de 1400 m (Distrito Federal, 2012) e todo o seu território está 100% inserido no bioma Cerrado (IBGE, 2020), que já perdeu 57,65% da sua cobertura vegetal original nos primeiros 44 anos de ocupação (Unesco Brasil, 2002).

O Cerrado, maior savana e segundo maior bioma da América do Sul (Cardoso Da Silva & Bates, 2002), está localizado principalmente no Planalto Central do Brasil. É um

bioma que possui duas estações sazonais bem definidas, apresentando uma estação seca e a outra chuvosa (Eiten, 1972). Sua fitofisionomia é constituída por um mosaico de vegetação que compreende formações florestais, savânicas e campestres, determinadas pela disponibilidade de água, pelas propriedades físicas e químicas do solo, além da sua geomorfologia e topografia (Ribeiro & Walter, 1998). É um dos biomas de grande relevância, visto que ele abriga um grande número de espécies endêmicas e, ao mesmo tempo, apresenta um alto grau de alteração, sendo considerado um *hotspot* global de conservação (Myers et al., 2000).

No DF, selecionei quatro tipos de ambientes para a coleta de dados sobre a bioacústica e características da paisagem, sendo esses ambientes compostos por áreas protegidas, áreas rurais, áreas urbanas de baixa densidade de ocupação e áreas urbanas de alta densidade de ocupação. As unidades de conservação (UC) selecionadas foram a Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília (EEJBB) e o Parque Nacional de Brasília (PNB). As áreas urbanas compreenderam áreas residenciais do Plano Piloto de Brasília (área com alto nível de urbanização) e áreas residenciais das regiões administrativas de São Sebastião e de Sobradinho (áreas urbanas com baixo nível de urbanização e, também, áreas rurais localizadas nas adjacências) (Jatobá, 2017) (Fig. 2).

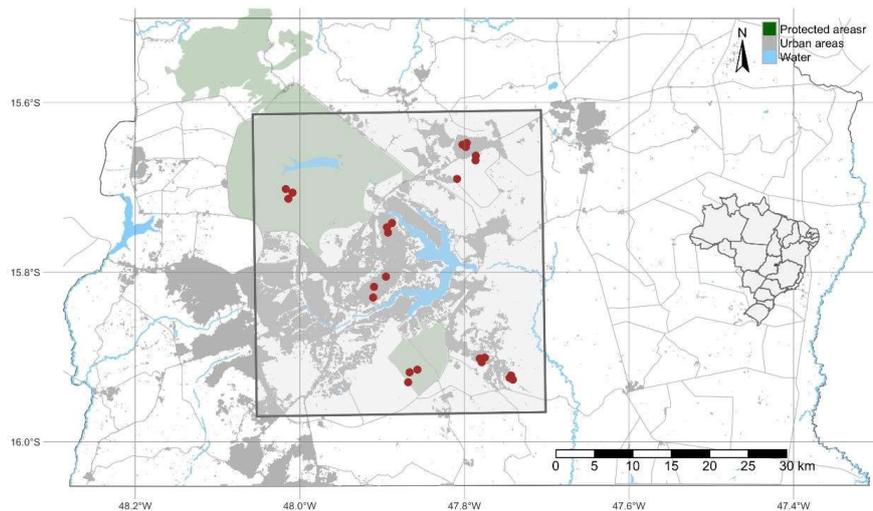


Fig. 2: Localização da área de estudo na região do Distrito Federal, Brasil. Os pontos vermelhos representam os locais amostrados. As áreas verdes são o Parque Nacional de Brasília (lado superior direito) e a Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília (ao centro).

2.1.1. Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília (EEJBB)

A EEJBB ocupa uma área de 4.518,20 há, a uma distância de 10 km do centro de Brasília, na porção sul do DF. Sua altitude é de 1,056 m, nas coordenadas que vão de 15°53' a 15°56' Lat S e 47°53' a 48°50' Long W (Fig. 2). A estação é destinada essencialmente para a pesquisa, conservação e o manejo das espécies do Cerrado, sendo uma UC de proteção integral. Ela ocupa 7% das áreas protegidas do DF, fazendo parte da Área de Proteção Ambiental Bacias do Gama e Cabeça de Veado (IBRAM, 2009), juntamente com a Reserva Ecológica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (FAL).

A estação ecológica possui em sua fitofisionomia formações savânicas, campestres e florestais encontradas no bioma Cerrado, sendo o cerrado sentido restrito a fitofisionomia encontrada com maior predominância. Ela faz parte de uma área inserida na bacia hidrográfica do rio Paranoá, é afluente do rio São Bartolomeu e foz do ribeirão do Gama e do córrego Cabeça de Veado. Esse último é o mais importante curso d'água dessa unidade de conservação. Assim, diante da importância da preservação dessa UC, a EEJBB possui aproximadamente 93% da sua área como regime de restrição máxima.

Contudo, no Jardim Botânico de Brasília, área contígua à EEJBB, há espaços destinados à educação ambiental e áreas de lazer para caminhadas e apreciação da natureza (IBRAM, 2009).

2.1.2. *Parque Nacional de Brasília (PNB)*

O PNB, cujas coordenadas vão de 15°58' a 15°79' Lat S e de 47°86' a 48°08' Long W, está localizado a cerca de 10 km de distância do centro de Brasília, na porção noroeste do DF (Fig. 2). Possui uma extensão de 42.389,01 ha, sendo uma unidade de conservação com áreas abertas para recreação, visitação contemplativa e para atividades de educação ambiental (ICMBIO, 1998).

De acordo com seu Plano de Manejo, o PNB apresenta como fitofisionomias mata de galeria alagada, mata de galeria não alagada, cerrado sentido restrito, cerrado denso, campo sujo, campo limpo, campo úmido, brejo, campo de murunduns, vereda e campo rupestre. Apesar dos diferentes tipos de fitofisionomias, ocorre a predominância de cerrado e de campo limpo.

2.1.3. *Plano Piloto de Brasília (PPB)*

O Plano Piloto de Brasília, localizado na porção central do DF, nas coordenadas que vão de 15° 80' a 15°82' Lat S e 48°89' a 47°92' Long W (Fig. 2), cobre uma área de 40.989,31 ha, com 24,83% do seu território preenchido por área urbana (Jatobá, 2017). A construção dessa cidade foi feita de forma planejada, estando dividida nas regiões denominadas Asa Sul e Asa Norte. Essas são divididas em 60 superquadras compostas por edifícios residenciais e por comércios locais em cada uma de suas entrequadras. Após a construção do Plano Piloto de Brasília, centenas de espécies arbóreas foram plantadas em suas superquadras, incluindo algumas espécies exóticas. Entre elas estão a mangueira (*Mangifera indica*), xixi-de-macaco (*Spathodea campanulata*), a sibipiruna (*Caesalpinia*

pluviosa), e o jabolão, *Syzygium jambolanum* (Costa e Lima & Silva Júnior, 2010). Por conseguinte, o Plano Piloto, sendo uma malha urbana bem delineada e bem arborizada.

2.1.4. Sobradinho (Sob)

A cidade de Sobradinho cobre uma área de 20.122,20 ha, com 7,47% do seu território preenchido por área urbana (Jatobá, 2017) e está situada a 22,1 km a nordeste do Plano Piloto (Fig. 2). Seu relevo é composto por superfícies planas a levemente onduladas. Nas cotas entre 1.200m e 1.300m, encontra-se a Chapada da Contagem, com cobertura predominantemente reflorestada; nas altitudes entre 1000 a 1200 m, a fitofisionomia é composta por cerrado sentido restrito, cerradão, mata ciliar e reflorestamentos com espécies exóticas (*Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp.); e nas superfícies com cotas entre 800 m e 1000m, encontram-se áreas de cerrado sentido restrito, cerradão, cerrado ralo, mata subcaducifólia e algumas manchas de matas ciliares. Além disso, é uma área cercada por córregos (Lima, 2002).

2.1.5. São Sebastião (SS)

A cidade de São Sebastião está situada na porção leste do DF (Fig. 2), cobrindo uma área de 35.571,37 ha, com 2,48% do seu território ocupado por malha urbana (Jatobá, 2017). É uma cidade localizada na região sul da Área de Proteção Ambiental do rio São Bartolomeu, onde são desenvolvidas atividades baseadas na agropecuária e na agricultura. Devido a essas atividades, suas terras estão ocupadas por propriedades voltadas para produção de subsistência e abastecimento local, além de outras atividades destinadas ao agronegócio (Santos et al., 2011).

2.2. Coleta de dados

Estabeleci 24 pontos de amostragem distribuídos em um gradiente urbano, sendo seis pontos nas unidades de conservação (PNB e EEJBB), seis pontos nas áreas rurais (proximidades de Sob e SS), seis pontos nas áreas com baixo nível de urbanização (Sob e SS) e seis pontos em áreas urbanas com alto nível de urbanização (PPB) (Fig. 2). Fiz a escolha dos pontos para coleta de dados amostrais assegurando uma distância mínima de 500 m entre os pontos mais próximos uns dos outros, garantindo a não sobreposição dos dados amostrais (Hill et al., 2018). Em cada um dos pontos de amostragem, instalei um gravador digital programável (AudioMoth da Open Acoustic Devices) para a coleta de dados acústicos. Programei os gravadores para gerar arquivos no formato *wave* com 48 kHz de taxa de amostragem, 16 bits de resolução e monofônicos. Cada arquivo gerado tinha a duração de 10 min com intervalo de outros 10 min até o início da próxima gravação. As atividades de gravações cobriram os períodos de 30 min antes do nascer do Sol, sendo concluídas duas horas após o nascer do Sol. Os gravadores operaram por três dias em cada ponto de amostragem durante os meses de fevereiro, outubro e dezembro de 2020, sendo esses 3 meses representantes da estação chuvosa do DF. Assim, o esforço amostral foi de 7,5 horas por ponto de amostragem/mês ou 540 horas no total.

2.3. Métricas da paisagem

Utilizei as bandas 2 a 7 do satélite *Landsat 8* (sensor *Operational Land Imager – OLI*) e mais uma imagem relativa ao índice normalizado de diferença da vegetação (NDVI) para fazer uma classificação supervisionada da área de estudos. A Imagem NDVI foi criada a partir da combinação das bandas do infravermelho próximo (banda 5) e do vermelho (banda 4). A combinação das bandas para a produção do NDVI é dada pela fórmula: $NDVI = (banda\ 5 - banda\ 4) / (banda\ 5 + banda\ 4)$. Utilizando o programa R,

com os pacotes *mapview* (Appelhans et al., 2021) e *editmap* (Appelhans et al., 2020) foram criados 2085 pontos de controle de 11 classes de uso da terra para a região de Brasília e cidades satélites (Fig. 3). Com o uso do pacote *dismo* (Hijmans et al., 2021), os pontos foram divididos aleatoriamente em dois grupos, sendo 80% para treino da classificação e 20% para teste do resultado. Foi utilizada a função *getValues* do pacote *raster* (Hijmans, 2021) para criar uma matriz de valores de cada ponto de treino em todas as imagens. A classificação das imagens foi feita por meio de uma árvore de decisão com o uso do pacote *rpart* (Therneau & Atkinson, 2019). A árvore de decisão é uma análise não paramétrica de classificação de valores, que são usados para o treinamento do modelo de regressão (Sharma et al., 2013). Para avaliar a qualidade e precisão da classificação obtida, foi utilizada a função *confusionMatrix* do pacote *caret* (Kuhn, 2021) gerada uma matriz de confusão com os pontos de teste. O resultado da avaliação da classificação indicou uma acuraria igual a 1 (100% de classificação correta das classes de uso da terra) ($Kappa = 1, p < 0.001$). Desta forma, a imagem resultante da classificação foi considerada satisfatória e utilizada para as análises posteriores.

Com o uso do pacote *raster* (Hijmans, 2021) e o pacote *landscapemetrics* (Hesselbarth et al., 2019) foram geradas as métricas de paisagem para a avaliação das características do entorno dos pontos de amostragem, métricas essas utilizadas como variáveis explanatórias nos modelos de regressão (ver abaixo). Com o pacote *raster* foram produzidas as seguintes métricas: distância de cada ponto até uma área de cerrado sentido restrito (*d_cerr*), distância para matas (*d_mata*), distância para áreas de baixa urbanização (*d_urb1* – cidades de São Sebastião e Sobradinho como referências), distância para áreas com alta urbanização (*d_urb2* – Plano Piloto de Brasília como referência). Além dessas métricas, calculei também os valores do Índice de Vegetação com Diferença Normalizada (NDVI). Com o pacote *landscapemetrics* calculei o índice de diversidade de Shannon

para as classes de uso da terra, heterogeneidade ambiental (div), a proporção de áreas nativas (nat) e a diversidade de manchas (np) no entorno de cada ponto amostrado. Com o uso do pacote sf (Pebesma, 2018), como a distância mínima entre os pontos era de 500 metros, criei *buffers* de 300 m e de 600 m em torno de cada um dos pontos com a síntese das métricas calculadas. Para cada uma dessas medidas, considerei para as análises a média, a mediana e a amplitude dos valores calculados (a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo) e fiz a combinação de cada um deles para verificar quais variáveis da paisagem estavam correlacionadas com os índices acústicos.

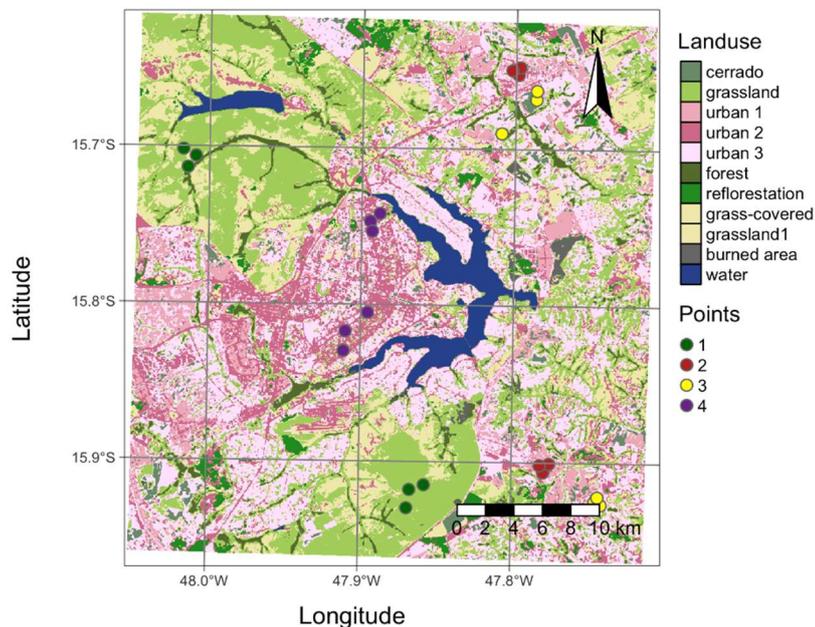


Fig. 3: Mapa de uso do solo após classificação das imagens Landsat (a partir de 2020). Os pontos 1 (verde) são aqueles localizados em áreas nativas. Os pontos 2 (vermelho) são aqueles localizados em áreas urbanas de baixa densidade. Os pontos 3 (amarelo) são aqueles localizados em áreas rurais. Os pontos 4 (roxo) são aqueles localizados em áreas urbanas de alta densidade.

Para verificar se as regiões amostradas (áreas nativas, áreas rurais, urbanas do tipo 1 e áreas urbanas do tipo 2) poderiam ser discriminadas pelas métricas calculadas e considerando que as mesmas poderiam apresentar algum nível de colinearidade, fiz uma Análise de Componente Principal (PCA). A PCA foi feita com a função *prcomp* do programa R, sendo que os valores foram padronizados com o parâmetro 'scale'.

Considerando que os escores da PCA não seguem uma distribuição normal (Shapiro-Wilk $w=0.75095$, $p<0.001$), eu fiz um teste de Kruskal-Wallis e, com o uso da função `kwAllPairsNemenyiTest` do pacote `PMCMRplus` (Pohlert, 2021), fiz uma análise pareada dos grupos de regiões (i.e., a comparação entre áreas nativas, áreas rurais, urbanas do tipo 1 e áreas urbanas do tipo 2).

2.4. *Análise dos dados acústicos*

Fiz uma seleção prévia dos arquivos gravados para excluir arquivos com gravações de ruídos que pudessem interferir no cálculo dos índices acústicos. Foram excluídos arquivos com sons de chuva, de ventos fortes, de cigarras, ou ruídos de maquinarias (tecnofonia) que se sobrepuseram aos sons constituintes da paisagem acústica. Após essas exclusões, utilizei o programa R, versão 4.1.1, (R Core Team, 2021), e os pacotes *tuneR* (Ligges et al., 2018), *seewave* (Sueur, Aubin, et al., 2008) e *soundecology* (Villanueva-Rivera & Pijanowski, 2018) para o processamento das amostras utilizadas nas análises acústicas. Com o uso desses pacotes, os arquivos de 10 minutos selecionados para as análises foram cortados, de forma aleatória, em 10 arquivos de 1 minuto. Após os cortes, obtive 1920 arquivos de 1 minuto dos registros obtidos em cada um dos meses, com exceção do mês de dezembro, pois os gravadores não funcionaram em três pontos (em Sob urbana, Sob rural e PPB) e um quarto gravador foi furtado em SS urbana. Para esses pontos, utilizei o valor médio dos demais pontos de cada local para o cálculo dos índices acústicos (ver abaixo).

Calculei os valores de seis índices acústicos já bastante utilizados em outras pesquisas voltadas para o estudo ecológico de aves e sobre bioacústica (Bradfer-Lawrence et al., 2019; M. E. Ferreira et al., 2013; Fuller et al., 2015a; Machado et al., 2017; Mammides et al., 2017), sendo eles: Índice de Diversidade Acústica (ADI), Índice

de Complexidade Acústica (ACI), Índice da Diferença Normalizada da Paisagem Acústica (NDSI), Índice de Equitabilidade Acústica (AEI), Índice de Entropia total (H) e Índice Bioacústico (BI). Para o cálculo do ADI e AEI foram consideradas frequências de sons de até 10 kHz; para o cálculo do BI foram consideradas frequências entre 501 Hz e 10 kHz; e para o cálculo do NDSI, foram consideradas frequências de até 1 kHz para antropofonia e frequências que iam de 2 kHz a 10 kHz para biofonia. Já para o cálculo dos índices ACI e H, considerei os parâmetros já padronizados nos pacotes *soundecology* e *seewave* para os cálculos. Para o mês de dezembro, os pontos que, por problemas técnicos, ficaram sem arquivos gravados receberam a média dos valores dos índices calculados nos dois pontos mais próximos, ou seja, nos pontos pertencentes ao mesmo ambiente. Dessa forma, as análises foram realizadas com 5760 valores calculados para cada um dos índices acústicos, incluindo as médias atribuídas aos pontos que apresentaram problemas no mês de dezembro.

Verifiquei os parâmetros estatísticos padrões em cada índice acústico com o uso da estatística descritiva (média, mediana, desvio padrão e frequência de distribuição) e utilizei também o teste de correlação de Spearman para avaliar a colinearidade entre os índices. A análise indicou que o Índice de Diversidade Acústica (ADI) e o Índice de Equitabilidade Acústica (AEI) estão significativamente correlacionados (Tabela 1). Então, decidi utilizar os dados do ADI nas análises, uma vez que esse está associado com a riqueza de espécies presentes nos ambientes (Machado et al., 2017), estando, portanto, relacionado com o objetivo do estudo.

Tabela 1: Matriz de correlação dos índices acústicos obtida a partir dos 5760 valores de cada um dos índices acústicos calculados a partir das amostras de cada paisagem acústica encontrada no gradiente urbano utilizado nesta pesquisa. ADI: Índice de diversidade acústica; ACI: Índice de Complexidade Acústica; NDSI: Índice de Normalização da Paisagem Acústica; AEI: Índice de Equitabilidade acústica; H: Índice de Entropia; BIO: Índice Bioacústico. Sendo $p < 0,005$ para as correlações estatisticamente significativas. Em negrito está a alta correlação entre o ADI e o AEI e entre H e o AEI.

	ADI	ACI	NDSI	AEI	H	BI
ADI	1,0000					
ACI	-0,1303	1,0000				
NDSI	0,199	0,2888	1,0000			
AEI	-0,9978	0,1337	-0,1942	1,0000		
H	0,6997	-0,0468	0,209	-0,7031	1,0000	
BI	-0,5152	0,2419	0,1795	0,5258	-0,5671	1,0000

Os quatro tipos de ambientes utilizados na coleta de dados também foram caracterizados de acordo com a cobertura da vegetação. Para isso, utilizei o Índice Normalizado de Diferença da Vegetação (NDVI), visto que ele apresenta associação positiva com a biodiversidade (Toranza & Arim, 2010). Assim, nós caracterizamos o conjunto de amostras das paisagens utilizadas nesse estudo de acordo com os valores de NDVI extraídos de cada uma delas.

2.4.1. Índice da Diversidade Acústica

3. O Índice de Diversidade Acústica (ADI) indica a diversidade acústica das espécies presentes em um determinado ambiente. Ele é calculado de forma similar ao Índice de Shannon, calculando a diversidade de espécies de acordo com as bandas de frequência dos sons encontrados nas gravações em um determinado intervalo de tempo. Dessa forma, considera-se como se cada banda de frequência representasse uma espécie diferente e o índice é calculado da seguinte forma:

$$4. ADI = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

5. De modo que p_i é a frequência de som em cada i – ésima banda de frequência e s é o total de bandas de frequência. Além disso, a proporção de sons dentro de cada banda

de frequência pode ser utilizada para uma estimativa da diversidade (Villanueva-Rivera et al., 2011).

5.1.1. Índice de Complexidade Acústica

O Índice de Complexidade Acústica (ACI) apresenta forte correlação com o número de vocalizações das aves presentes no ambiente, representando a heterogeneidade da paisagem acústica de acordo com a variabilidade das intensidades dos sinais sonoros. Isso é possível pois ele quantifica as vocalizações presentes no ambiente, processando a intensidade dos sons registrados em um arquivo de áudio.

Para obter os valores desse índice, calcula-se a diferença absoluta (d_k) entre dois valores de intensidade adjacentes (I_k e I_{k+1}) de uma única barra de frequência (f) do espectrograma criado a partir das amostras sonoras.

$$d_k = |I_k - I_{k+1}|$$

Após o cálculo dessas diferenças, é feita a divisão do somatório dessas diferenças (D) pelo total da soma dos valores das intensidades registradas (I_k) em um determinado intervalo de tempo da gravação. Essa operação promove a redução do efeito da distância das aves até o gravador.

$$ACI = \frac{D}{\sum_{k=1}^n I_k}$$

sendo,

$$D = \sum_{k=1}^n d_k$$

Assim, obtemos a intensidade relativa das vocalizações de em um determinado intervalo de tempo (t) e em uma única barra de frequência (Δf).

$$ACI_{\Delta fl} = \sum_{j=1}^m ACI$$

Com isso, é possível calcular o ACI para todo o arquivo da gravação fazendo o somatório de todos os valores de $ACI_{\Delta fl}$, ou seja, de todas as barras de frequência presentes na gravação. (Pieretti et al., 2011).

Índice de Normalidade da Paisagem Acústica

O Índice de Normalidade da Paisagem Acústica (NDSI) foi criado para designar o distúrbio da antropofonia sobre a paisagem acústica. Seu valor é calculado pela razão entre componentes da biofonia e da antropofonia de amostras de sons coletados em campo, no intervalo [-1, +1], em que +1 indica ausência de antropofonia. A fórmula para seu cálculo é:

$$NDSI = \frac{\beta - \alpha}{\beta + \alpha}$$

Com β e α representando valores de densidade espectral de potência para a biofonia (Σ 2 a 8kHz) e a antropofonia (Σ 1-2kHz), respectivamente (Kasten et al., 2012).

5.1.2. Índice de Entropia Acústica

O Índice de Entropia Acústica (H) é o resultado do produto entre as funções de entropia espectral (H_f) e entropia de amplitude, também chamada de entropia temporal (H_t). Seus valores variam no intervalo [0, 1], com valores tendendo a 0 para ambientes com energia sonora mais homogênea no espectro, indicando silêncio ou ruído mais homogêneo, como acontece com sons antropofônicos. (Sueur, Pavoine, et al., 2008). Dessa forma, quanto mais próximos de 1 forem os valores de H, maiores são os indícios

de um ambiente mais conservado, pois indica um energia sonora mais heterogênea no espectro (Fuller et al., 2015a)

5.1.3. Índice Bioacústico

O Índice Bioacústico (BI) representa o quanto determinadas bandas de frequência estão ocupadas por sinais sonoros. Dessa forma, ele faz uma estimativa da abundância de espécies de aves presentes no ambiente. Assim, quanto mais indivíduos no ambiente, maior será o valor do desse índice. Para essa estimativa, é calculada a amplitude dos sons em decibéis e o número de bandas de frequência ocupadas pelas vocalizações de cada espécie. Assim, os valores do índice são obtidos com o cálculo que envolve a Rápida Transformada de Fourier (FFT) dos dados acústicos (A), realizando-se o cálculo da área de FFT entre o valor mínimo e máximo dos intervalos de frequências dos sons (em kHz) gravados nos arquivos (Boelman et al., 2007).

$$BI = \sum_{f=f_1}^{f_n} FFT(A)$$

Análises estatísticas

Como os índices acústicos calculados em cada ambiente desse estudo não apresentaram uma distribuição normal, utilizei o teste de Kruskal-Wallis para verificar a existência de diferenças na paisagem acústica dos diferentes níveis do gradiente urbano (natural, rural, urbana 1 e urbana 2) com base nos índices acústicos e da primeira componente da PCA. Em seguida, com o uso do pacote *PMCMRplus* (Thorsten, 2021), realizei o teste de Nemenyi para uma análise *post-hoc* de comparações múltiplas para os

valores dos índices acústicos nos quatro ambientes do gradiente urbano, também considerando o primeiro componente da PCA.

Para verificar a correlação dos índices acústicos (ACI, ADI, BI, H e NDSI) com as métricas da paisagem no entorno dos pontos de amostragem (d_cerr, d_mata, d_urb1, d_urb2, NDVI, div, nat, np), elaborei um Modelo Linear Generalizado (GLM) a partir da mediana dos índices acústicos e da amplitude dos valores padronizados das variáveis da paisagem (padronização feita com o uso da função *scale* do programa R). Assim, verifiquei a relação entre cada índice acústico e as métricas da paisagem calculadas nos *buffers* de 300 e de 600 metros.

O modelo inicial do GLM foi elaborado com todas as variáveis da paisagem para cada uma das medidas dos índices. Em seguida, com uso do Fator de Inflação da Variância, o VIF (*Variance Inflation Factor*), do pacote *car* (Fox & Weisberg, 2019), eliminei, de forma gradativa, as variáveis da paisagem que apresentavam valores de VIF maiores que 3, o que diminuiu a possibilidade de colinearidade entre elas (Zuur et al., 2010). Em seguida, utilizei a função *stepAIC* do pacote *MASS* (Venables & Ripley, 2002) para a seleção de modelos.

3. Resultados

3.1. Características das regiões de amostragem

Os três primeiros componentes da PCA gerada a partir das métricas de posição relativa dos pontos de amostragem (distância de cerrado, matas e áreas urbanas), da biomassa (representada pelo NDVI) e características da matriz (área nativa remanescente, diversidade de manchas e heterogeneidade espacial) explicaram 93,10% da variância original dos dados. As variáveis np (diversidade de manchas),

div (heterogeneidade ambiental) e d_cerr (distância do cerrado) foram aquelas que mais contribuíram para o primeiro componente e as variáveis d_mata e d_urb2, além de div, foram aquelas mais correlacionadas com o segundo componente (Fig. 4, Tabela 2).

Os quatro grupos de regiões amostradas (áreas nativas, rurais, urbanas de baixa densidade e urbanas de alta densidade) foram discriminadas pelo escores do componente 1 (Kruskal-Wallis chi-quadrado = 18.567, $p < 0.001$). A análise pareada dos grupos feita com o teste de Tukey-Kramer-Nemenyi indicou uma diferença significativa entre as áreas nativas e as áreas urbanas de baixa densidade e áreas rurais, mas não entre as áreas nativas e áreas urbanas de alta densidade (Tabela 3).

Tabela 2. Variância cumulativa e estrutura (cargas fatoriais) dos três primeiros componentes da análise de componentes principais realizada com métricas de paisagem. Os nomes das variáveis são: distância de áreas de cerrado (d_cerr), distância de áreas de floresta (d_forest), distância de áreas urbanas de baixa densidade (d_urb1), distância de áreas urbanas de alta densidade (d_urb2), heterogeneidade de matriz (div), remanescente de área nativa (nat) e diversidade de manchas de diferentes classes (np).

Metric	PC1	PC2	PC3
Variance (%)	65.85	82.24	93.10
d_cerr	0.2785	-0.1588	0.7787
d_forest	-0.0573	-0.8202	-0.2233
d_urb1	-0.3947	0.2330	0.2054
d_urb2	-0.4017	0.1841	0.2265
ndvi	-0.3778	0.0973	-0.3912
div	0.3718	0.2658	-0.2144
nat	-0.4213	0.0809	0.1349
np	0.3788	0.3568	-0.1819

Tabela 3. Comparação dos grupos de áreas da região de estudo em função dos escores do primeiro componente da PCA. Os números indicam o valor de p para o teste de Tukey-Kramer-Nemenyi. Os números em negrito indicam $p < 0,05$.

	nativa	rural	urb1
rural	0.0002	-	-
urb1	0.0173	0.6370	-
urb2	0.2951	0.0833	0.6370

Nota: nativa = áreas nativas, rural = áreas rurais, urb1 = áreas urbanas de baixa densidade, urb2 = áreas urbanas de alta densidade.

A separação dos grupos de áreas foi influenciada principalmente pelas variáveis ndvi2, nat, d_urb12 e d_urb22, que separaram os pontos das áreas nativas dos demais pontos. Os pontos das áreas urbanas de baixa densidade e rurais foram influenciados pelas variáveis np e div e os pontos da área urbana de alta densidade foram influenciados pela variável d_mata (Fig. 4).

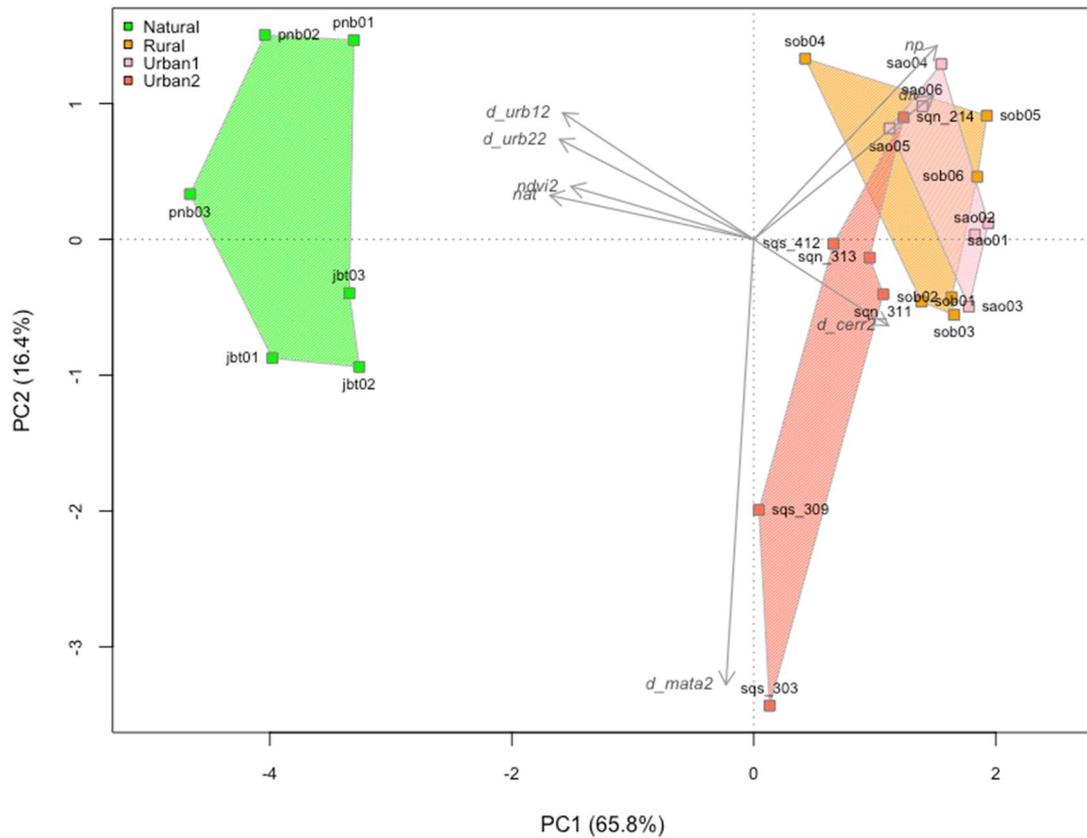


Fig. 4. Discriminação das áreas estudadas (naturais, rurais, áreas urbanas de baixa densidade, áreas urbanas de alta densidade) após análise dos componentes principais. As métricas da paisagem são: distância de áreas de cerrado (d_cerr2), distância de áreas de floresta (d_mata2), distância de áreas urbanas de baixa densidade (d_urb12), distância de áreas urbanas de alta densidade (d_urb22), heterogeneidade da matriz ($div2$), área nativa remanescente ($nat2$) e diversidade de manchas de diferentes classes ($np2$).

3.2. *Variação dos índices acústicos nos ambientes*

O teste de Kruskal-Wallis validou a hipótese de que há diferença significativa entre os valores dos índices calculados em pelo menos dois dos ambientes pertencentes ao gradiente urbano amostrado ($p < 0,001$). O teste de Nemenyi indicou que o ADI, o BI e o H apresentaram valores significativamente diferentes entre os quatro ambientes do gradiente. O BI apresentou valores crescentes no sentido natural – rural – urbana 1 – urbana 2 e o ADI resultou em valores decrescentes no sentido natural – rural – urbano 2 – urbano 1. Além disso, os valores desses dois índices, assim como do NDSI,

apresentaram menor variação nas áreas naturais do que nas áreas antropicamente modificadas (Fig.5).

Para o NDSI, o teste de Nemenyi apresentou evidências de valores significativamente maiores para as áreas naturais em relação às áreas rurais ($p = 0,031$), e essas últimas foram significativamente maiores em relação às áreas urbanas 1 e 2 ($p < 0,001$). As áreas urbanas 1 e urbanas 2 não apresentaram evidências de diferença significativa entre si para esse índice ($p = 0,191$) (Fig. 5). No caso do ACI, o teste indicou valores significativamente menores nas áreas naturais em relação aos encontrados nas áreas rurais e nas áreas urbanas 1, mas não houve evidência de diferença entre os seus valores nas áreas naturais e nas áreas urbanas 2 ($p = 0.1319$). Além disso, os valores do ACI foram significativamente maiores nas áreas urbanas 1 do que nos outros 3 tipos de áreas (Fig.5).

3.3.Efeito das métricas de paisagem sobre os índices acústicos

Na elaboração do GLM, após a aplicação do VIF, quatro das variáveis foram indicadas com menor fator de multicolinearidade (d_cerr , d_mata , $ndvi$ e np no *buffer* de 300 m; d_cerr , d_mata , $ndvi$ e div no *buffer* de 600 m). Dos resultados obtidos, tanto no *buffer* de 300 metros quanto no *buffer* de 600 metros, fica indicado que o ADI e o NDSI, por apresentarem correlação negativa com a distância do cerrado, tenderam a ter maiores valores com a proximidade desse tipo de área nativa. O mesmo acontece com o H tanto para áreas próximas do cerrado e quanto próximas de mata, já que esse índice apresenta correlação negativa com a distância do cerrado e com a distância de mata. Além disso, ainda no *buffer* de 600 metros, ADI foi relacionado significativamente e negativamente com a distância da mata e do cerrado; maiores valores de NDSI foram relacionados aos locais com maior diversidade de ambientes (Tabela 4).

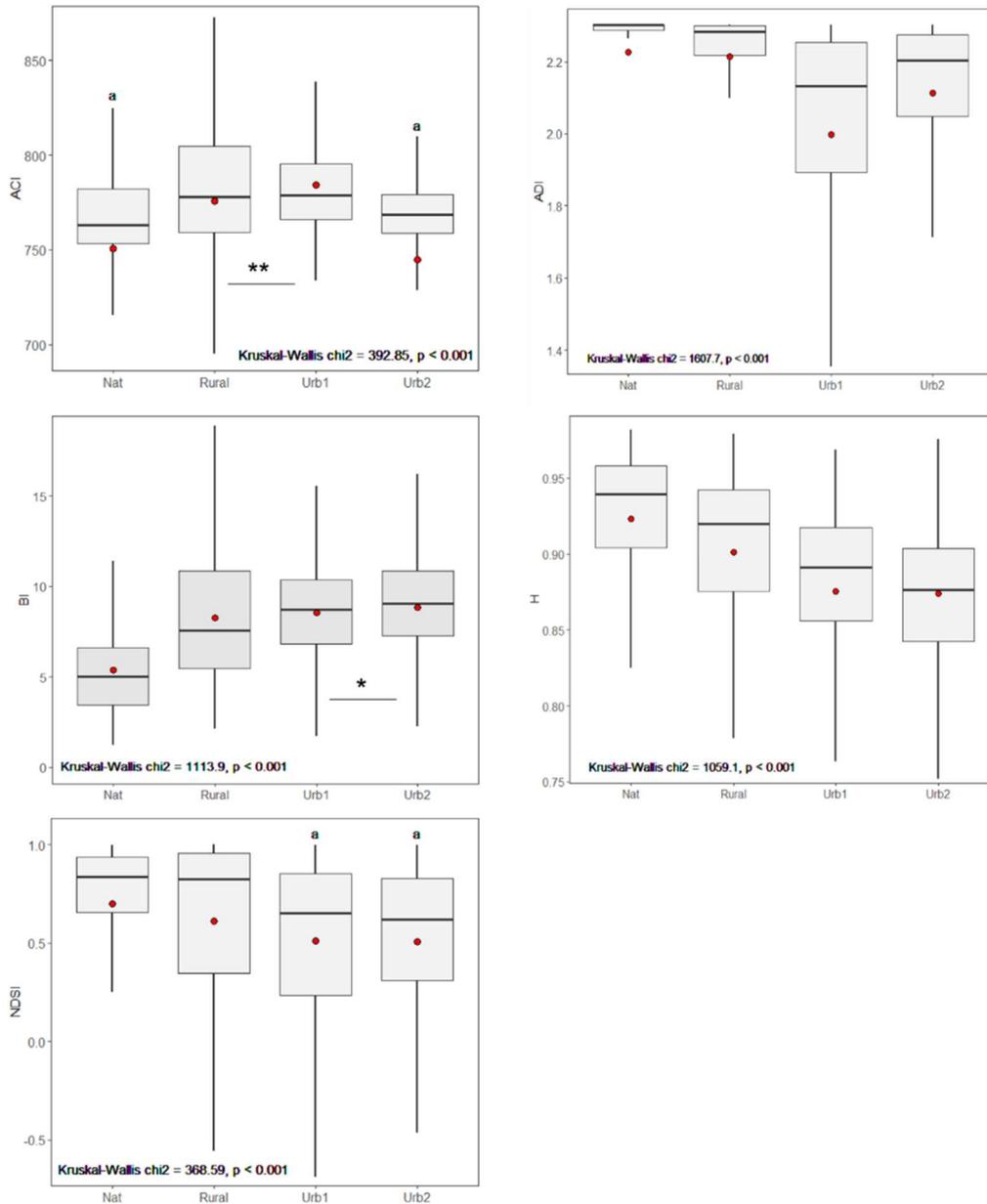


Fig. 5. Distribuição dos valores dos índices acústicos nos diferentes ambientes do gradiente urbano. O teste de Nemenyi apresentou evidências de que os valores do ADI e do BI são significativamente diferentes entre os quatro ambientes do gradiente urbano amostrado. O mesmo teste mostrou que, para os valores do ACI e do NDSI, não houve diferença significativa para as áreas naturais e urbanas 2 e nem para as áreas urbanas 1 e urbanas 2. O círculo vermelho e o segmento de reta preto horizontal no interior de cada boxplot indicam, nessa ordem, a média e a mediana dos índices calculados em cada ambiente do gradiente. As letras “a” nos boxplots do ACI e do NDSI sinalizam quais áreas não apresentaram diferenças significativas para os valores desses índices. Os asteriscos indicam valores de p maiores que 0,001: $p < 0,05$ (*) e $p < 0,01$ (**).

Tabela 4: Resultados do modelo linear generalizado entre os índices acústicos e as métricas da paisagem. Valores em negrito para p-value indicam diferença significativa para o valor de p ($p < 0,05$). As colunas s.e e t-value indicam o erro padrão e o valor de t, nessa ordem, para a correlação entre as variáveis.

	Buffer 300					Buffer 600				
	Models	Estimate	s.e	t-value	p-value	Models	Estimate	s.e	t-value	p-value
ACI	d_cerr	6.93020	3.95310	1.75300	0.09570	d_cerr3	5.869	3.668	1.600	0.126
	d_mata	-3.09940	3.20680	-0.9660	0.34590	d_mata3	-6.329	3.169	-1.997	0.060
	ndvi	1.50480	3.47570	0.43300	0.66990	ndvi3	2.381	3.711	0.642	0.529
	np	-0.50330	4.34120	-0.1160	0.90890	div	-2.741	4.391	-0.624	0.540
ADI	d_cerr	-0.08787	0.01645	-5.3430	<0.001	d_cerr	-0.091	0.014	-6.653	<0.001
	d_mata	0.00328	0.01334	0.24600	0.80870	d_mata	0.001	0.012	0.078	0.938
	ndvi	0.00366	0.01446	0.25300	0.80310	ndvi	0.002	0.014	0.119	0.907
	np	0.04069	0.01806	2.25300	0.03630	div	0.039	0.016	2.378	0.028
BI	d_cerr	1.42681	0.43689	3.26600	0.00407	d_cerr	1.022	0.466	2.194	0.041
	d_mata	0.21605	0.35441	0.61000	0.54935	d_mata	0.310	0.402	0.771	0.450
	ndvi	0.47586	0.38414	1.23900	0.23052	ndvi	0.400	0.471	0.849	0.407
	np	0.00545	0.47979	0.01100	0.99106	div	0.302	0.558	0.541	0.595
H	d_cerr	-0.01692	0.00639	-2.6490	0.01580	d_cerr	-0.019	0.006	-3.320	0.004
	d_mata	-0.01730	0.00518	-2.2630	0.03550	d_mata	-0.015	0.005	-3.041	0.007
	ndvi	-0.00004	0.00562	-0.0070	0.99440	ndvi	-0.005	0.006	-0.875	0.392
	np	-0.00409	0.00701	-0.5820	0.56720	div	0.000	0.007	0.031	0.975
NDSI	d_cerr	-0.15297	0.05304	-2.8840	0.00950	d_cerr	-0.164	0.046	-3.545	0.002
	d_mata	0.00301	0.04302	0.07000	0.94490	d_mata	-0.010	0.040	-0.249	0.806
	ndvi	-0.02266	0.04663	-0.4860	0.63260	ndvi	-0.069	0.047	-1.488	0.153
	np	0.09218	0.05824	1.58300	0.13000	div	0.127	0.055	2.291	0.034

O ACI não apresentou correlação com nenhuma das variáveis da paisagem utilizadas nas análises desse estudo. O BI apresentou correlação positiva com a distância do cerrado tanto no *buffer* de 300 m quanto no *buffer* de 600 m e com a diversidade de

manchas somente no *buffer* de 300 metros. Esse último índice apresentou uma tendência em obter valores menores e com menor variação nas áreas naturais em relação às áreas antropicamente modificadas, seguindo uma ordem crescente no gradiente natural-rural-urbano 1-urbano 2.

4. Discussão

O objetivo desse trabalho foi verificar as características das paisagens acústicas em um gradiente ambiental que varia desde áreas nativas até áreas urbanas de alta densidade. Para isso, calculei os valores de seis índices acústicos a partir de gravações automáticas realizadas em horários com uma intensa atividade de vocalização da avifauna (Lee et al., 2017; Marín-Gómez et al., 2020). Índices acústicos têm sido usados com relativa precisão para representar a diversidade de espécies em uma dada região, particularmente para o grupo das aves (Farina et al., 2015; M. E. Ferreira et al., 2013; Krause et al., 2011; Machado et al., 2017; Villanueva-Rivera et al., 2011). Verifiquei que os ambientes que compõem as áreas naturais são estruturalmente distintos dos ambientes antropicamente modificados. Ocorre uma alta semelhança entre as áreas rurais e as áreas urbanas de alta densidade (talvez por elas estarem bem próximas umas das outras) e que quatro dos índices calculados variam no sentido natural – rural – urbano, conforme previsto pela hipótese de trabalho. O ACI (Índice de Complexidade Acústica) não foi explicado pelas variáveis da estrutura da paisagem utilizadas nas análises. Entretanto, a distância de mata, a distância do cerrado, a heterogeneidade ambiental e a diversidade de manchas são variáveis da paisagem que explicam as diferentes variações dos outros índices. Os resultados mostraram que quanto mais próximas forem as áreas nativas, maior será a tendência em encontrar baixos valores para o BI (Índice Bioacústico) e altos valores

para o ADI (Índice da Diversidade Acústica), para o H (Índice de Entropia Acústica) e para o NDSI (Índice da Diferença Normalizada da Paisagem).

4.1. Resposta dos índices acústicos ao gradiente urbano

Meus resultados mostraram que, quanto maior a distância de áreas de cerrado sentido restrito (Ribeiro' & Walter, 1998), menores serão os valores do ADI e do NDSI, com uma tendência em apresentarem valores mais altos nas áreas de cerrado sentido restrito. Além disso, esses índices apresentaram-se positivamente correlacionados com a heterogeneidade ambiental e, no caso do ADI, com a diversidade de manchas da paisagem. Como esse último índice está negativamente correlacionado com a distância do cerrado sentido restrito e positivamente correlacionado com a diversidade de manchas e com a heterogeneidade ambiental da paisagem, isso indica que paisagens compostas por um mosaico de áreas urbanas e naturais favorecem uma maior diversidade de espécies, situação já observada em outras regiões (Callaghan et al., 2021; de Groot et al., 2021; Garizábal-Carmona & Mancera-Rodríguez, 2021). Por consequência, esses resultados sugerem que as áreas compostas por vegetação nativa, ou áreas que apresentam o mosaico citado, possuem maior riqueza de espécies do que as áreas intensamente urbanizadas, já que o ADI apresenta uma correlação positiva com a riqueza de aves presentes no cerrado, como mostrou o trabalho realizado por Machado et al. (2017).

A queda nos valores do NDSI com o aumento da distância das áreas naturais e o aumento da sua variação em áreas rurais e urbanas confirmam a sensibilidade desse índice aos ruídos antrópicos, como já indicado em estudos anteriores (Kasten et al., 2012; Machado et al., 2017; Rajan et al., 2019). Além disso, de acordo com Fuller et al. (2015b), locais com maior variação nos valores do NDSI (entre -1 e 1) geralmente exibem baixa riqueza de aves. Meus resultados mostram ainda que quanto maior for a diversidade de

ambientes, maior é a tendência de o NDSI ter valores maiores, o que sugere que os ambientes amostrados apresentam diferentes fontes de biofonia e de antropofonia. Isso acontece, pois, com uma alta diversidade de ambientes, pode ser que as paisagens acústicas apresentem maior biofonia (Hao et al., 2021), baixa antropofonia ou que a antropofonia esteja reduzida por estruturas que compõem os ambientes, de forma que esses fiquem menos propensos a ruídos, o que indica que a vegetação funciona como uma barreira para a propagação de sons (Margaritis et al., 2018; Papafotiou et al., 2004; Watts et al., 1999)

O índice H apresenta padrão semelhante ao encontrado para o ADI e para o NDSI na estrutura da paisagem analisada aqui, o que também foi verificado por Ferreira et al. (2018), mas, no estudo deles, em uma escala temporal. Neste estudo, o índice H está negativamente correlacionado com a distância do cerrado sentido restrito e com a distância de áreas de mata, apresentando, também, menor amplitude de valores nas áreas naturais. Esses resultados corroboram com a hipótese de que esse índice apresentaria valores mais altos nas áreas mais conservadas, uma vez que ele também é um índice relacionado com a riqueza de espécies e com as estruturas da paisagem (Fuller et al., 2015b; Sueur, Pavoine, et al., 2008; Zhao et al., 2019), representando bem a riqueza da biofonia encontrada no Cerrado (L. M. Ferreira et al., 2018).

Com os resultados obtidos, percebo que as estruturas da paisagem utilizadas neste estudo explicam a tendência de altos valores para o ADI, para o H e para o NDSI nas áreas mais conservadas. Tal resultado era esperado, uma vez que as áreas com intensa urbanização apresentam uma diminuição da diversidade e da riqueza de espécies de aves em relação às áreas naturais (Abilhoa & Amorin, 2017; Blair, 1996; Filloy et al., 2019). Além disso, o NDSI e o H são vistos como bons indicadores das condições ecológicas (Fuller et al., 2015b), uma vez que seus resultados indicam quais áreas estão mais

expostas aos ruídos (Kasten et al., 2012; Sueur, Pavoine, et al., 2008), e o ADI como indicador das atividades acústicas da biodiversidade dos ambientes (L. M. Ferreira et al., 2018; Machado et al., 2017; Sueur, Pavoine, et al., 2008; Zhao et al., 2017). Dessa forma, pode-se deduzir que a paisagem acústica nas áreas naturais tem maior predominância da biofonia do que em áreas modificadas.

Com relação ao ACI (Índice de Complexidade Acústica), as variáveis da estrutura da paisagem utilizadas nas análises não explicam os resultados desse índice no gradiente analisado, pois ele não apresentou correlação com nenhuma delas. Pode ser que haja alguma variável que influencie na variação dos seus valores, mas que não foi utilizada nesse estudo. Como possíveis variações espaciais ou temporais que levam algumas espécies a modificarem suas atividades durante o dia, posso citar a mudança do início do coro matinal de algumas espécies de aves em áreas com e sem iluminação artificial, como acontece com chapim-azul (*Cyanistes caeruleus*), com chapim-real (*Parus major*), com melro-preto (*Turdus merula*) e com pisco-do-peito-ruivo (*Erithacus rubecula*) (Kempnaers et al., 2010). Outro exemplo é o nível de poluição sonora que pode estimular as aves a iniciarem suas atividades vocais mais cedo para evitar o mascaramento acústico provocado pelo tráfego ao iniciar o dia, como acontece com o tico-tico (*Zonotrichia capensis*) (Dorado-Correa et al., 2016). Ou ainda, como indicado por Buxton et al. (2016) e por Farina et al. (2015; Zhao et al., 2017), o ACI pode ser um bom indicador de mudanças na complexidade acústica para diferentes sazonalidades.

Assim como nesse trabalho, estudos anteriores não encontraram um padrão claro de tendência do ACI em análises bioacústicas envolvendo ambientes de diferentes paisagens (Bradfer-Lawrence et al., 2019; Dröge et al., 2021; Fuller et al., 2015b). Há, também, outros trabalhos mostrando não haver correlação entre esse índice e a riqueza de espécies presentes em ambientes com interferência antrópica (M. E. Ferreira et al., 2013;

Mammides et al., 2017) e, quando há, é uma correlação fraca (Dröge et al., 2021; Zhao et al., 2017). Então, pode ser que esse índice tenha seus valores enviesados devido à antropofonia (Depraetere et al., 2012; Fairbrass et al., 2017; Pieretti et al., 2011), ou mesmo à presença de espécies que sejam vocalmente dominantes por emitirem sons mais altos que outras (Retamosa Izaguirre & Ramírez-Alán, 2018). Tais situações podem justificar essa dificuldade em interpretar a relação entre o ACI e a riqueza de espécies em ambientes com diferentes níveis de urbanização.

O BI mostrou-se positivamente correlacionado com a distância do cerrado, ou seja, seus valores tendem a ser maiores nas áreas urbanas. Esse resultado está de acordo com o obtido por Fairbrass et al. (2017), que encontrou uma correlação positiva entre esse índice e as atividades antropogênicas na Grande Londres do Reino Unido. Como esse índice resulta da área do polígono formado a partir de uma faixa de frequência e dos limites mínimo e máximo de amplitude dos sons, a energia sonora total que preenche essa área resulta em maiores valores gerados a partir de ambientes com uma ampla faixa de frequências e com maior faixa de amplitude (Boelman et al., 2007). Dessa forma, pode ser que o aumento na amplitude dos cantos das aves presentes em áreas com maior antropofonia (Brumm, 2004; Brumm & Todt, 2002) estejam influenciando os valores desse índice nas áreas urbanas, mesmo que a riqueza de espécies nesses ambientes seja menor que nas áreas naturais, como indicado, neste estudo, pelos resultados do ADI e do H. Dessa forma, assim como percebido no trabalho de Fuller et al. (2015b), o BI apresenta uma relação inversa à encontrada para os índices de diversidade (ADI e H) e o NDSI.

4.2. *Importância das áreas naturais no mosaico urbano*

De acordo com meus resultados, áreas urbanas que possuem áreas nativas ou que estejam próximas a elas, apresentam uma tendência em gerar maiores valores para os

índices acústicos. Esses resultados podem ser um indicativo de que quanto mais próximo de áreas naturais, maior será a diversidade de espécies (Fuller et al., 2015b; Machado et al., 2017; Mammides et al., 2017), o que vai de encontro com os resultados de outros estudos, em diferentes locais do globo terrestre, que têm analisado como áreas de maior e menor cobertura vegetal influenciam na riqueza, na diversidade e na abundância de aves (Abilhoa & Amorin, 2017; Blair, 1996; Clergeau et al., 1998; Joo et al., 2011). Mason et al. (2006), por exemplo, em um estudo realizado na Inglaterra, mostraram que áreas urbanas com maior cobertura vegetal, incluindo parques com áreas nativas e jardins particulares, tendem a apresentar maior riqueza e diversidade de espécies. Garaffa et al. (2009), em um estudo realizado na Argentina, mostraram que a riqueza e a abundância de aves não seguem o mesmo padrão em um gradiente rural-urbano com diferentes tamanhos de áreas urbanas, podendo ter menor riqueza de espécies em áreas onde todo o solo está coberto por concreto, independentemente do tamanho delas. Além disso, Reis et al. (2012), no estado de Tocantins, na região central do Brasil, e van Heezik et al. (2008) na Nova Zelândia, mostraram que a presença de áreas nativas próximas às áreas urbanas favorece o aumento da riqueza e da diversidade de espécies nas áreas urbanas. Considerando o exposto acima, esse estudo mostra que há maior presença de aves em áreas mais arborizadas, o que pode ser justificado pela presença de mais recursos alimentares, áreas para nidificar, locais para se proteger de predadores, ou mesmo a formação de corredores ecológicos formados pela vegetação presente no mosaico urbano e nas áreas naturais dos arredores.

Um dos graves problemas que afetam a biodiversidade nas cidades são os ruídos produzidos por elas. Uma forma de reduzir os impactos desses ruídos é com a presença de barreiras formadas por vegetação, uma vez que essas podem servir para atenuar ruídos produzidos em áreas próximas, por exemplo, de grandes avenidas (Margaritis et al., 2018;

Mohammadi Galangash et al., 2020; Ozer et al., 2008; Papafotiou et al., 2004) e ainda contribuir com a riqueza e diversidade de espécies (van Heezik et al., 2008). Um estudo realizado por Ow e Gosh (2017) mostrou que barreiras formadas por vegetação são bastante efetivas na redução de ruídos produzidos em estradas, podendo reduzir os ruídos em mais de 50% em relação à sua fonte. É importante ressaltar que o potencial das barreiras de som pode variar de acordo com as características das espécies vegetais utilizadas para formá-las (Fan et al., 2010). Mas, além das barreiras naturais, podem ser construídas barreiras artificiais temporárias produzidas com material obtido de podas de plantas (Gil-Lopez et al., 2017). Essas barreiras artificiais podem proteger áreas naturais e residenciais de altos ruídos, como os produzidos por avenidas com grande intensidade de tráfego, por exemplo, até que a barreira natural cresça e seja viável na redução dos ruídos.

Além de barreiras de sons, características da paisagem, como o tamanho e a conectividade de fragmentos de vegetação contribuem positivamente para a riqueza de aves e para a redução da propagação da antropofonia, como mostrado por Tucker et al. (2014) e como sugerem os resultados deste estudo. Dessa forma, fica clara a importância de termos cidades com um manejo voltado para a manutenção de áreas nativas, tanto no entorno quanto na composição da paisagem urbana. Assim, os impactos das áreas urbanas podem ser amenizados com um manejo que priorize cidades arborizadas com diferentes espécies vegetais, favorecendo espécies de aves nativas que auxiliem no aumento da diversidade e de suas funcionalidades, mesmo dentro de uma matriz urbana (Pena et al., 2017). Assim, no caso dos ambientes onde este estudo foi realizado, deve-se favorecer o uso de espécies do Cerrado, uma vez que o cerrado sentido restrito foi utilizado como uma das variáveis da estrutura da paisagem e se mostrou relacionado a quatro dos cinco índices acústicos utilizados nas análises.

Conclusão

Neste estudo, a partir da análise de índices acústicos, demonstrei que existem diferenças nas paisagens acústicas presentes em um gradiente urbano. Verifiquei que essas diferenças podem ser explicadas a partir de variáveis da estrutura da paisagem. Como esperado, o Índice da Diversidade Acústica (ADI), o índice de Entropia Acústica (H) e o Índice Normalizado da Diferença da Paisagem Acústica (NDSI) apresentaram correlação negativa com a distância de áreas naturais. Além disso, encontrei correlação positiva com a heterogeneidade ambiental e com diversidade de manchas encontrados em cada *buffer* criado em torno dos pontos, de forma que a primeira variável estava correlacionada com o ADI e com o NDSI e a segunda somente com o ADI. Com esses resultados, confirmei que as coberturas vegetais, principalmente as de áreas nativas, têm grande relevância para a diversidade de espécies.

O Índice Bioacústico apresentou resultado diferente do esperado, pois resultou em valores maiores nas áreas urbanas do que nas áreas naturais, sendo possível justificar esse resultado pela intensidade das vocalizações emitidas pelas aves ao terem de enfrentar a antropofonia presente nessas áreas. Já o Índice de Complexidade Acústica (ACI) não apresentou correlação com nenhuma das variáveis utilizadas neste estudo. Então, seria interessante que outros estudos verificassem que outras variáveis componentes da estrutura da paisagem podem estar correlacionadas com esse índice, como, por exemplo, sazonalidade, presença e ausência de iluminação artificial e diferentes períodos do dia.

Esse trabalho confirma a importância que áreas naturais possuem na composição do mosaico urbano. Assim, o manejo das cidades que compõem um gradiente urbano deve ser feito de forma que áreas naturais tenham maior porcentagem na composição das paisagens urbanas, pois, como mostrado em outros estudos, além de elas servirem como

atenuantes de ruídos gerados pelas cidades, elas contribuem para a manutenção da diversidade de espécies.

Referências bibliográficas

- Abilhoa, V., & Amorin, R. (2017). Effects of urbanization on the avian community in a southern Brazilian city. *Revista Brasileira de Ornitologia*, 25(1), 31–39.
<https://doi.org/10.1007/BF03544374>
- Acevedo, M. A., Corrada-Bravo, C. J., Corrada-Bravo, H., Villanueva-Rivera, L. J., & Aide, T. M. (2009). Automated classification of bird and amphibian calls using machine learning: A comparison of methods. *Ecological Informatics*, 4(4), 206–214.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2009.06.005>
- Acevedo, M. A., & Villanueva-Rivera, L. J. (2006). Using Automated Digital Recording Systems as Effective Tools for the Monitoring of Birds and Amphibians. *Wildlife Society Bulletin*, 34(1), 211–214. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[211:UADRSA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[211:UADRSA]2.0.CO;2)
- Appelhans, T., Detsch, F., Reudenbach, C., & Stefan, W. (2021). *mapview: Interactive Viewing of Spatial Data in R. R package version 2.10.0*. <https://CRAN.R-project.org/package=mapview>
- Appelhans, T., Russell, K., & Busetto, L. (2020). *Mapedit: Interactive—Editing of Spatial Data in R. R package version 0.6.0*. <https://CRAN.R-project.org/package=mapedit>
- Arboleda, M. (2016). Spaces of Extraction, Metropolitan Explosions: Planetary Urbanization and the Commodity Boom in Latin America: SPACES OF EXTRACTION, METROPOLITAN EXPLOSIONS. *International Journal of Urban and Regional Research*, 40(1), 96–112. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12290>
- Barber, J. R., Crooks, K. R., & Fristrup, K. M. (2010). The costs of chronic noise exposure for terrestrial organisms. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(3), 180–189.
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.08.002>
- Blair, R. B. (1996). Land Use and Avian Species Diversity Along an Urban Gradient. *Ecological Applications*, 6, 14.
- Boelman, N. T., Asner, G. P., Hart, P. J., & Martin, R. E. (2007). MULTI-TROPHIC INVASION RESISTANCE IN HAWAII: BIOACOUSTICS, FIELD SURVEYS, AND

- AIRBORNE REMOTE SENSING. *Ecological Applications*, 17(8), 2137–2144.
<https://doi.org/10.1890/07-0004.1>
- Bottollier-Curtet, M., Planty-Tabacchi, A.-M., & Tabacchi, E. (2013). Competition between young exotic invasive and native dominant plant species: Implications for invasions within riparian areas. *Journal of Vegetation Science*, 24(6), 1033–1042.
<https://doi.org/10.1111/jvs.12034>
- Bradfer-Lawrence, T., Gardner, N., Bunnefeld, L., Bunnefeld, N., Willis, S. G., & Dent, D. H. (2019). Guidelines for the use of acoustic indices in environmental research. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(10), 1796–1807. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13254>
- Brumm, H. (2004). The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird. *Journal of Animal Ecology*, 73(3), 434–440. <https://doi.org/10.1111/j.0021-8790.2004.00814.x>
- Brumm, H., & Slabbekoorn, H. (2005). Acoustic Communication in Noise. In *Advances in the Study of Behavior* (Vol. 35, pp. 151–209). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(05\)35004-2](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(05)35004-2)
- Brumm, H., & Todt, D. (2002). Noise-dependent song amplitude regulation in a territorial songbird. *Animal Behaviour*, 63(5), 891–897. <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1968>
- Buxton, R. T., Brown, E., Sharman, L., Gabriele, C. M., & McKenna, M. F. (2016). Using bioacoustics to examine shifts in songbird phenology. *Ecology and Evolution*, 6(14), 4697–4710. <https://doi.org/10.1002/ece3.2242>
- Callaghan, C. T., Poore, A. G. B., Major, R. E., Cornwell, W. K., Wilshire, J. H., & Lyons, M. B. (2021). How to build a biodiverse city: Environmental determinants of bird diversity within and among 1581 cities. *Biodiversity and Conservation*, 30(1), 217–234.
<https://doi.org/10.1007/s10531-020-02088-1>
- Cardoso Da Silva, J. M., & Bates, J. M. (2002). Biogeographic Patterns and Conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. *BioScience*, 52(3), 225.
[https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2)

- Cardoso, G. C., & Atwell, J. W. (2011). On the relation between loudness and the increased song frequency of urban birds. *Animal Behaviour*, 82(4), 831–836.
<https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.07.018>
- Cardoso, M. R. D., & Marcuzzo, F. F. N. (2014). Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geográfica*, 8, 40–55.
<https://doi.org/10.5654/actageo2014.0004.0016>
- Carvalho, F. M. V., De Marco, P., & Ferreira, L. G. (2009). The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil. *Biological Conservation*, 142(7), 1392–1403.
<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.031>
- Clergeau, P., Savard, J.-P. L., Mennechez, G., & Falardeau, G. (1998). Bird Abundance and Diversity along an Urban-Rural Gradient: A Comparative Study between Two Cities on Different Continents. *The Condor*, 100(3), 413–425. <https://doi.org/10.2307/1369707>
- Costa e Lima, R. M., & Silva Júnior, M. C. (2010). Inventário da arborização urbana implantada na década de 60 no plano piloto, Brasília, DF. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, 5(4), 110–127. <https://doi.org/10.5380/revsbau.v5i4.66321>
- de Groot, M., Flajšman, K., Mihelič, T., Vilhar, U., Simončič, P., & Verlič, A. (2021). Green space area and type affect bird communities in a South-eastern European city. *Urban Forestry & Urban Greening*, 63, 127212. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127212>
- Depraetere, M., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S., & Sueur, J. (2012). Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators*, 13(1), 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.006>
- Distrito Federal. (2012). *Companhia de Planejamento. "Secretaria de Estado do Planejamento e Orçamento do DF (SEPLAN). Distrito Federal em síntese: Informações socioeconômicas e geográficas.* Companhia de Planejamento do Distrito Federal – Codeplan. <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/S%3%ADntese-de-Inforna%3%A7%3%B5es-Socioecon%3%B4micas-e-Geogr%3%A1ficas-2012.pdf>

- Dorado-Correa, A. M., Rodríguez-Rocha, M., & Brumm, H. (2016). Anthropogenic noise, but not artificial light levels predicts song behaviour in an equatorial bird. *Royal Society Open Science*, 3(7), 160231. <https://doi.org/10.1098/rsos.160231>
- Dröge, S., Martin, D. A., Andriafanomezantsoa, R., Burivalova, Z., Fulgence, T. R., Osen, K., Rakotomalala, E., Schwab, D., Wurz, A., Richter, T., & Kreft, H. (2021). Listening to a changing landscape: Acoustic indices reflect bird species richness and plot-scale vegetation structure across different land-use types in north-eastern Madagascar. *Ecological Indicators*, 120, 106929. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106929>
- Eiten, G. (1972). The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, 38(2), 201–341. <https://doi.org/10.1007/BF02859158>
- Fairbrass, A. J., Rennert, P., Williams, C., Titheridge, H., & Jones, K. E. (2017). Biases of acoustic indices measuring biodiversity in urban areas. *Ecological Indicators*, 83, 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.064>
- Fan, Y., Zhiyi, B., Zhujun, Z., & Jiani, L. (2010). The investigation of noise attenuation by plants and the corresponding noise-reducing spectrum. *Journal of Environmental Health*, 72(8), 8–16.
- Farina, A. (2014). *Soundscape Ecology*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7374-5>
- Farina, A., Ceraulo, M., Bobryk, C., Pieretti, N., Quinci, E., & Lattanzi, E. (2015). Spatial and temporal variation of bird dawn chorus and successive acoustic morning activity in a Mediterranean landscape. *Bioacoustics*, 24(3), 269–288. <https://doi.org/10.1080/09524622.2015.1070282>
- Farina, A., Lattanzi, E., Malavasi, R., Pieretti, N., & Piccioli, L. (2011). Avian soundscapes and cognitive landscapes: Theory, application and ecological perspectives. *Landscape Ecology*, 26(9), 1257–1267. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9617-z>
- Fernández-Juricic, E., & Schroeder, N. (2003). Do variations in scanning behavior affect tolerance to human disturbance? *Applied Animal Behaviour Science*, 84(3), 219–234. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2003.08.004>

- Ferreira, L. M., Oliveira, E. G., Lopes, L. C., Brito, M. R., Baumgarten, J., Rodrigues, F. H., & Sousa-Lima, R. S. (2018). What do insects, anurans, birds, and mammals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. *Journal of Ecoacoustics*, 2(1), 1–1. <https://doi.org/10.22261/jea.pvh6yz>
- Ferreira, M. E., Ferreira, L. G., Miziara, F., & Soares-Filho, B. S. (2013). Modeling landscape dynamics in the central Brazilian savanna biome: Future scenarios and perspectives for conservation. *Journal of Land Use Science*, 8(4), 403–421. <https://doi.org/10.1080/1747423X.2012.675363>
- Filloy, J., Zurita, G. A., & Bellocq, M. I. (2019). Bird Diversity in Urban Ecosystems: The Role of the Biome and Land Use Along Urbanization Gradients. *Ecosystems*, 22(1), 213–227. <https://doi.org/10.1007/s10021-018-0264-y>
- Flores-Meza, S., Katunaric-Nuñez, M., Rovira-Soto, J., & Rebolledo-González, M. (2013). Identificación de áreas favorables para la riqueza de fauna vertebrada en la zona urbana y periurbana de la Región Metropolitana, Chile. *Revista chilena de historia natural*, 86(3), 265–278. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2013000300004>
- Forman, R. T. T., Reineking, B., & Hersperger, A. M. (2002). Road Traffic and Nearby Grassland Bird Patterns in a Suburbanizing Landscape. *Environmental Management*, 29(6), 782–800. <https://doi.org/10.1007/s00267-001-0065-4>
- Forti, L. R., Haddad, C. F. B., Leite, F., Drummond, L. de O., de Assis, C., Crivellari, L. B., Mello, C. M., Garcia, P. C. A., Zornosa-Torres, C., & Toledo, L. F. (2019). Notes on vocalizations of Brazilian amphibians IV: Advertisement calls of 20 Atlantic Forest frog species. *PeerJ*, 7, e7612. <https://doi.org/10.7717/peerj.7612>
- Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An {R} Companion to Applied Regression* (3rd ed.). Sage. <https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Francis, C. D., Ortega, C. P., & Cruz, A. (2009). Noise Pollution Changes Avian Communities and Species Interactions. *Current Biology*, 19(16), 1415–1419. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.06.052>

- Fuller, S., Axel, A. C., Tucker, D., & Gage, S. H. (2015a). Connecting soundscape to landscape: Which acoustic index best describes landscape configuration? *Ecological Indicators*, 58, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.057>
- Fuller, S., Axel, A. C., Tucker, D., & Gage, S. H. (2015b). Connecting soundscape to landscape: Which acoustic index best describes landscape configuration? *Ecological Indicators*, 58, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.057>
- Garaffa, P. I., Filloy, J., & Bellocq, M. I. (2009). Bird community responses along urban–rural gradients: Does the size of the urbanized area matter? *Landscape and Urban Planning*, 90(1–2), 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.004>
- Garizábal-Carmona, J. A., & Mancera-Rodríguez, N. J. (2021). Bird species richness across a Northern Andean city: Effects of size, shape, land cover, and vegetation of urban green spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, 64, 127243. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127243>
- Gerland, P., Raftery, A. E., Evikova, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, B. K., Chunn, J., Lalic, N., Bay, G., Buettner, T., Heilig, G. K., & Wilmoth, J. (2014). World population stabilization unlikely this century. *Science*, 346(6206), 234–237. <https://doi.org/10.1126/science.1257469>
- Gil-Lopez, T., Medina-Molina, M., Verdu-Vazquez, A., & Martel-Rodriguez, B. (2017). Acoustic and economic analysis of the use of palm tree pruning waste in noise barriers to mitigate the environmental impact of motorways. *Science of The Total Environment*, 584–585, 1066–1076. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.162>
- Goddard, M. A., Dougill, A. J., & Benton, T. G. (2010). Scaling up from gardens: Biodiversity conservation in urban environments. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(2), 90–98. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.07.016>
- Hao, Z., Wang, C., Sun, Z., van den Bosch, C. K., Zhao, D., Sun, B., Xu, X., Bian, Q., Bai, Z., Wei, K., Zhao, Y., & Pei, N. (2021). Soundscape mapping for spatial-temporal estimate on bird activities in urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 57, 126822. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126822>

- Hesselbarth, M. H. K., Sciaini, M., With, K. A., Wiegand, K., & Nowosad, J. (2019). *LandscapeMetrics: An open-source R tool to calculate landscape metrics*. 42, 1648–1657.
- Hijmans, R. J. (2021). *Raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.5-2*. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hijmans, R. J., Phillips, S., Leathwick, J., & Elith, J. (2021). *Dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.3-5*. <https://CRAN.R-project.org/package=dismo>
- Hill, A. P., Prince, P., Piña Covarrubias, E., Doncaster, C. P., Snaddon, J. L., & Rogers, A. (2018). AudioMoth: Evaluation of a smart open acoustic device for monitoring biodiversity and the environment. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(5), 1199–1211. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12955>
- IBGE, I. B. de G. e E. (2020). *Territórios e Ambiente* [Governamental]. IBGE. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/df/brasil/panorama>
- IBRAM. (2009). *Estação Ecológica Jardim Botânico de Brasília—EEJBBB. Plano de Manejo: Versão resumida*.
- ICMBIO. (1998). *Plano de Manejo Parque Nacional de Brasília*. <https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/PARNA%20Brasilia.pdf>
- Jatobá, S. U. (2017). Densidades urbanas nas regiões administrativas do Distrito Federal. *Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Codeplan*, 47.
- Jones, T., Bamford, A. J., Ferrol-Schulte, D., Hieronimo, P., McWilliam, N., & Rovero, F. (2012). Vanishing Wildlife Corridors and Options for Restoration: A Case Study from Tanzania. *Tropical Conservation Science*, 5(4), 463–474. <https://doi.org/10.1177/194008291200500405>
- Joo, W., Gage, S. H., & Kasten, E. P. (2011). Analysis and interpretation of variability in soundscapes along an urban–rural gradient. *Landscape and Urban Planning*, 103(3–4), 259–276. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.08.001>

- Jorge, F. C., Machado, C. G., da Cunha Nogueira, S. S., & Nogueira-Filho, S. L. G. (2018). The effectiveness of acoustic indices for forest monitoring in Atlantic rainforest fragments. *Ecological Indicators*, *91*, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.001>
- Kaiser, K., & Hammers, J. (2009). The effect of anthropogenic noise on male advertisement call rate in the neotropical treefrog, *Dendropsophus triangulum*. *Behaviour*, *146*(8), 1053–1069. <https://doi.org/10.1163/156853909X404457>
- Kasten, E. P., Gage, S. H., Fox, J., & Joo, W. (2012). The remote environmental assessment laboratory's acoustic library: An archive for studying soundscape ecology. *Ecological Informatics*, *12*, 50–67. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2012.08.001>
- Kempnaers, B., Borgström, P., Loës, P., Schlicht, E., & Valcu, M. (2010). Artificial Night Lighting Affects Dawn Song, Extra-Pair Siring Success, and Lay Date in Songbirds. *Current Biology*, *20*(19), 1735–1739. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.08.028>
- Kormann, U., Scherber, C., Tschardtke, T., Klein, N., Larbig, M., Valente, J. J., Hadley, A. S., & Betts, M. G. (2016). Corridors restore animal-mediated pollination in fragmented tropical forest landscapes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, *283*(1823), 20152347. <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.2347>
- Krause, B., Gage, S. H., & Joo, W. (2011). Measuring and interpreting the temporal variability in the soundscape at four places in Sequoia National Park. *Landscape Ecology*, *26*(9), 1247–1256. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9639-6>
- Kroodsma, D. E. (1976). Reproductive Development in a Female Songbird: Differential Stimulation by Quality of Male Song. *Science*, *192*(4239), 574–575. <https://doi.org/10.1126/science.192.4239.574>
- Kuhn, M. (2021). *Caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-88*. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>
- Lee, J. G.-H., MacGregor-Fors, I., & Yeh, P. J. (2017). Sunrise in the city: Disentangling drivers of the avian dawn chorus onset in urban greenspaces. *Journal of Avian Biology*, *48*(7), 955–964. <https://doi.org/10.1111/jav.01042>

- Ligges, U., Krey, S., Mersmann, O., & Schnackenberg, S. (2018). URL: <https://CRAN.R-project.org/package=tuneR>
- Lima, A. L. (2002). Áreas Restritivas à ocupação urbana na Região Administrativa de Sobradinho—DF. *Espaço e Geografia*, 5(1), 199–217.
- Lizée, M.-H., Mauffrey, J.-F., Taton, T., & Deschamps-Cottin, M. (2011). Monitoring urban environments on the basis of biological traits. *Ecological Indicators*, 11(2), 353–361. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.06.003>
- Luther, D., & Baptista, L. (2010). Urban noise and the cultural evolution of bird songs. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1680), 469–473. <https://doi.org/10.1098/rspb.2009.1571>
- Machado, R. B., Aguiar, L., & Jones, G. (2017). Do acoustic indices reflect the characteristics of bird communities in the savannas of Central Brazil? *Landscape and Urban Planning*, 162, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.01.014>
- Mammides, C., Goodale, E., Dayananda, S. K., Kang, L., & Chen, J. (2017). Do acoustic indices correlate with bird diversity? Insights from two biodiverse regions in Yunnan Province, south China. *Ecological Indicators*, 82, 470–477. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.017>
- Margaritis, E., Kang, J., Filipan, K., & Botteldooren, D. (2018). The influence of vegetation and surrounding traffic noise parameters on the sound environment of urban parks. *Applied Geography*, 94, 199–212. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.02.017>
- Marín-Gómez, O. H., Dáttilo, W., Sosa-López, J. R., Santiago-Alarcon, D., & MacGregor-Fors, I. (2020). Where has the city choir gone? Loss of the temporal structure of bird dawn choruses in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 194, 103665. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103665>
- Marzluff, J. M. (2001). Worldwide urbanization and its effects on birds. In J. M. Marzluff, R. Bowman, & R. Donnelly (Eds.), *Avian Ecology and Conservation in an Urbanizing World* (pp. 19–47). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1531-9_2

- Mason, C. F. (2006). Avian species richness and numbers in the built environment: Can new housing developments be good for birds? *Biodiversity and Conservation*, *15*(8), 2365–2378. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-1236-4>
- Mathevon, N., Aubin, T., Vielliard, J., da Silva, M.-L., Sebe, F., & Boscolo, D. (2008). Singing in the Rain Forest: How a Tropical Bird Song Transfers Information. *PLoS ONE*, *3*(2), e1580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001580>
- Michelan, T. S., Thomaz, S. M., Bando, F. M., & Bini, L. M. (2018). Competitive Effects Hinder the Recolonization of Native Species in Environments Densely Occupied by One Invasive Exotic Species. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1261. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01261>
- Mohammadi Galangash, M., Nikkhah, P., & Nikooy, M. (2020). The effect of tree covers on reducing noise pollution load in Saravan Forest Park, Guilan Province, Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *18*(1). <https://doi.org/10.22124/cjes.2020.3980>
- Morante-Filho, J. C., Faria, D., Mariano-Neto, E., & Rhodes, J. (2015). Birds in Anthropogenic Landscapes: The Responses of Ecological Groups to Forest Loss in the Brazilian Atlantic Forest. *PLOS ONE*, *10*(6), e0128923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128923>
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., da Fonseca, G. A. B., & Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, *403*(6772), 853–858. <https://doi.org/10.1038/35002501>
- Novaes, R. M. L., Pazianotto, R. A. A., Brandão, M., Alves, B. J. R., May, A., & Folegatti-Matsuura, M. I. S. (2017). Estimating 20-year land-use change and derived CO₂ emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. *Global Change Biology*, *23*(9), 3716–3728. <https://doi.org/10.1111/gcb.13708>
- Ortega-Álvarez, R., & MacGregor-Fors, I. (2009). Living in the big city: Effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. *Landscape and Urban Planning*, *90*(3–4), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.11.003>

- Ortega-Álvarez, R., & MacGregor-Fors, I. (2011). Spreading the Word: The Ecology of Urban Birds Outside the United States, Canada, and Western Europe. *The Auk*, *128*(2), 415–418. <https://doi.org/10.1525/auk.2011.10082>
- Ow, L. F., & Ghosh, S. (2017). Urban cities and road traffic noise: Reduction through vegetation. *Applied Acoustics*, *120*, 15–20. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.01.007>
- Ozer, S., Irmak, M. A., & Yilmaz, H. (2008). Determination of roadside noise reduction effectiveness of *Pinus sylvestris* L. and *Populus nigra* L. in Erzurum, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, *144*(1–3), 191–197. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9978-6>
- Papafotiou, M., Chronopoulos, J., Tsiotsios, A., Mouzakis, K., & Balotis, G. (2004). THE IMPACT OF DESIGN ON TRAFFIC NOISE CONTROL IN AN URBAN PARK. *Acta Horticulturae*, *643*, 277–279. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.643.35>
- Pebesma, E. (2018). *Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data*. *The R Journal* *10* (1), 439–446. <https://doi.org/10.32614/RJ-2018-009>
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, *11*(5), 1633–1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Pena, J. C. de C., Martello, F., Ribeiro, M. C., Armitage, R. A., Young, R. J., & Rodrigues, M. (2017). Street trees reduce the negative effects of urbanization on birds. *PLOS ONE*, *12*(3), e0174484. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174484>
- Peter, F., Berens, D. G., Grieve, G. R., & Farwig, N. (2015). Forest Fragmentation Drives the Loss of Insectivorous Birds and an Associated Increase in Herbivory. *Biotropica*, *47*(5), 626–635. <https://doi.org/10.1111/btp.12239>
- Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, *11*(3), 868–873. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2010.11.005>

- Pijanowski, B. C., Farina, A., Gage, S. H., Dumyah, S. L., & Krause, B. L. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecol*, 20.
- Pohlert, T. (2021). *PMCMRplus: Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended*. R package version 1.9.2. <https://CRAN.R-project.org/package=PMCMRplus>
- Proppe, D. S., Sturdy, C. B., & St. Clair, C. C. (2013). Anthropogenic noise decreases urban songbird diversity and may contribute to homogenization. *Global Change Biology*, 19(4), 1075–1084. <https://doi.org/10.1111/gcb.12098>
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Rajan, S. C., Athira, K., Jaishanker, R., Sooraj, N. P., & Sarojkumar, V. (2019). Rapid assessment of biodiversity using acoustic indices. *Biodiversity and Conservation*, 28(8–9), 2371–2383. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1673-0>
- Ranft, R. (2004). Natural sound archives: Past, present and future. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 76(2), 456–460. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652004000200041>
- Reis, E., López-Iborra, G. M., & Pinheiro, R. T. (2012). Changes in bird species richness through different levels of urbanization: Implications for biodiversity conservation and garden design in Central Brazil. *Landscape and Urban Planning*, 107(1), 31–42. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.04.009>
- Retamosa Izaguirre, M. I., & Ramírez-Alán, O. (2018). Acoustic indices applied to biodiversity monitoring in a Costa Rica dry tropical forest. *Journal of Ecoacoustics*, 2(1), 1–1. <https://doi.org/10.22261/jea.tnw2np>
- Ribeiro, J. F., & Walter, B. M. T. (1998). Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In *Cerrado: Ambiente e Flora* (pp. 89–166).
- Rossi-Santos, M. R. (2015). Oil Industry and Noise Pollution in the Humpback Whale (*Megaptera novaeangliae*) Soundscape Ecology of the Southwestern Atlantic Breeding

- Ground. *Journal of Coastal Research*, 31(1), 184.
<https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00195.1>
- Santos, J. P. dos, Steinke, E. T., & García-Zapata, M. T. A. (2011). Uso e ocupação do solo e a disseminação da hantavirose na região de São Sebastião, Distrito Federal: 2004 - 2008. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 44(1), 53–57.
<https://doi.org/10.1590/S0037-86822011000100013>
- Scott Brandes, T. (2008). Automated sound recording and analysis techniques for bird surveys and conservation. *Bird Conservation International*, 18(S1), S163–S173.
<https://doi.org/10.1017/S0959270908000415>
- Seto, K. C., Fragkias, M., Güneralp, B., & Reilly, M. K. (2011). A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. *PLoS ONE*, 6(8), e23777.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023777>
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyrá, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Sharma, R., Ghosh, A., & Joshi, P. K. (2013). *Decision tree approach for classification of remotely sensed satellite data using open source support. Journal of Earth System Science* 122: 1237-1247. <https://doi-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s12040-013-0339-2>
- Slabbekoorn, H., Yang, X.-J., & Halfwerk, W. (2012). Birds and Anthropogenic Noise: Singing Higher May Matter: (A Comment on Nemeth and Brumm, “Birds and Anthropogenic Noise: Are Urban Songs Adaptive?”). *The American Naturalist*, 180(1), 142–145.
<https://doi.org/10.1086/665991>
- Sperandelli, D. I., Dupas, F. A., & Dias Pons, N. A. (2013). Dynamics of Urban Sprawl, Vacant Land, and Green Spaces on the Metropolitan Fringe of São Paulo, Brazil. *Journal of Urban Planning and Development*, 139(4), 274–279.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000154](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000154)

- Stürck, J., Schulp, C. J. E., & Verburg, P. H. (2015). Spatio-temporal dynamics of regulating ecosystem services in Europe – The role of past and future land use change. *Applied Geography*, *63*, 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.009>
- Suárez-Rodríguez, M., Montero-Montoya, R. D., & Macías Garcia, C. (2017). Anthropogenic Nest Materials May Increase Breeding Costs for Urban Birds. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fevo.2017.00004>
- Sueur, J., Aubin, T., & Simonis, C. (2008). Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics*, *18*(2), 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>
- Sueur, J., Farina, A., Gasc, A., Pieretti, N., & Pavoine, S. (2014). Acoustic Indices for Biodiversity Assessment and Landscape Investigation. *Acta Acustica United with Acustica*, *100*(4), 772–781. <https://doi.org/10.3813/AAA.918757>
- Sueur, J., Pavoine, S., Hamerlynck, O., & Duvail, S. (2008). Rapid Acoustic Survey for Biodiversity Appraisal. *PLoS ONE*, *3*(12), e4065. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004065>
- Therneau, T., & Atkinson, B. (2019). *Rpart: Recursive Partitioning and Regression Trees*. R package version 4.1-15. <https://CRAN.R-project.org/package=rpart>
- Thorsten, P. (2021). *PMCMRplus: Calculate Pairwise Multiple Comparisons of Mean Rank Sums Extended*. R package version 1.9.0. <https://CRAN.R-project.org/package=PMCMRplus>
- Toranza, C., & Arim, M. (2010). Cross-taxon congruence and environmental conditions. *BMC Ecology*, *10*(1), 18. <https://doi.org/10.1186/1472-6785-10-18>
- Tucker, D., Gage, S. H., Williamson, I., & Fuller, S. (2014). Linking ecological condition and the soundscape in fragmented Australian forests. *Landscape Ecology*, *29*(4), 745–758. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0015-1>
- Unesco Brasil (Ed.). (2002). *Vegetação no Distrito Federal: Tempo e espaço: uma avaliação multitemporal da perda de cobertura vegetal no DF e da diversidade florística da Reserva da Biosfera do Cerrado, Fase I* (2a ed. atualizada). UNESCO Brasil.

- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, & Population Division. (2019). *World urbanization prospects: The 2018 revision*.
- van Heezik, Y., Smyth, A., & Mathieu, R. (2008). Diversity of native and exotic birds across an urban gradient in a New Zealand city. *Landscape and Urban Planning*, *87*(3), 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.06.004>
- Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S*. (Fourth).
- Villanueva-Rivera, L. J., & Pijanowski, B. C. (2018). *Soundecology: Soundscape Ecology*. R package version 1.3.3. <https://CRAN.R-project.org/package=soundecology>
- Villanueva-Rivera, L. J., Pijanowski, B. C., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). A primer of acoustic analysis for landscape ecologists. *Landscape Ecology*, *26*(9), 1233–1246. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9636-9>
- Wang, Y., Huang, Q., Lan, S., Zhang, Q., & Chen, S. (2015). Common blackbirds *Turdus merula* use anthropogenic structures as nesting sites in an urbanized landscape. *Current Zoology*, *61*(3), 435–443. <https://doi.org/10.1093/czoolo/61.3.435>
- Warren, P. S., Katti, M., Ermann, M., & Brazel, A. (2006). Urban bioacoustics: It's not just noise. *Animal Behaviour*, *71*(3), 491–502. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2005.07.014>
- Watts, G., Chinn, L., & Godfrey, N. (1999). The effects of vegetation on the perception of traffic noise. *Applied Acoustics*, *18*.
- Zalles, V., Hansen, M. C., Potapov, P. V., Stehman, S. V., Tyukavina, A., Pickens, A., Song, X.-P., Adusei, B., Okpa, C., Aguilar, R., John, N., & Chavez, S. (2019). Near doubling of Brazil's intensive row crop area since 2000. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(2), 428–435. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810301115>
- Zhao, Z., Xu, Z., Bellisario, K., Zeng, R., Li, N., Zhou, W., & Pijanowski, B. C. (2019). How well do acoustic indices measure biodiversity? Computational experiments to determine effect of sound unit shape, vocalization intensity, and frequency of vocalization occurrence on performance of acoustic indices. *Ecological Indicators*, *107*, 105588. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105588>

- Zhao, Z., Zhang, S., Xu, Z., Bellisario, K., Dai, N., Omrani, H., & Pijanowski, B. C. (2017). Automated bird acoustic event detection and robust species classification. *Ecological Informatics*, 39, 99–108. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.04.003>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems: *Data exploration. Methods in Ecology and Evolution*, 1(1), 3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>

Capítulo 2: A educação básica e o conhecimento sobre a ecologia das aves

Resumo

O ensino da Ecologia é de extrema importância para o ensino básico para que os estudantes compreendam a importância da conservação dos ecossistemas onde estamos inseridos. O objetivo desse trabalho foi comparar diferenças no nível de conhecimento de estudantes do Ensino Fundamental sobre ecologia e espécies de aves presentes no DF sob três aspectos: morar em área urbana ou rural, tempo que frequenta a mesma escola maior ou menor que dois anos (considerando tempo em que as escolas estão realizando trabalhos remotos durante o período de cuidados com a pandemia do coronavírus) e escolaridade da família (verificar se há interferência no conhecimento de acordo com a escolaridade da mãe/pai ou responsável legal). Para essa finalidade, apliquei um questionário semi-estruturado com questões sobre ecologia e sobre aves presentes no Distrito Federal. Analisei as propostas pedagógicas das escolas participantes da pesquisa e verifiquei se essas realizam atividades voltadas para a ecologia das aves. Os resultados obtidos mostraram que existe diferença significativa nas respostas dadas para as questões sobre espécies conhecidas pelos estudantes e sobre reconhecer ou não a imagem de um ninho de joão-de-barro (*Furnarius rufus*, Furnariidae) entre estudantes que frequentam a escola pesquisada a mais ou menos de dois anos. Também encontrei diferença significativa entre as respostas de estudantes que vivem em áreas urbanas e rurais para questões sobre as funções dos cantos das aves. Não foi encontrada diferença significativa para as respostas das outras questões abordadas. De acordo com as propostas pedagógicas das escolas, nenhuma delas realiza atividades com a finalidade de entender as funções ecológicas das aves. Entretanto, todas elas realizam atividades voltadas para o meio ambiente, o que pode auxiliar de alguma forma o aprendizado sobre ecologia. No que tange os conhecimentos sobre as aves, é necessário entender os motivos da similaridade das respostas por estudantes que vivem em áreas rurais e estudantes que vivem em áreas urbanas. Afinal, existe grande relevância no conhecimento sobre esse assunto, pois ele pode despertar maior cuidado com o meio ambiente.

Palavras-chave: Ensino da ecologia; Ecologia das aves; Ensino Fundamental; Ensino de ciências.

Abstract

Ecology for basic education allows students to understand the importance of conserving the ecosystems where they live. The aim of this study was to compare differences in the level of knowledge of elementary school students about ecology and bird species present in the Federal District, Brasília, Brazil, under three aspects: living in urban or rural areas, studying at the same school for more than 2 years or less and schooling of the family. I applied a questionnaire about ecology and about bird species knowledge. I also analysed the pedagogical proposals of the schools participating in the research to check if the schools carried out activities focused on the study of bird ecology. The results showed that, according to the time the students have been attending the school where the research was carried out, there is a significant difference in the answers given to the questions about species known by the students and about recognising or not an image of a Rufous hornero (*Furnarius rufus*, Furnariidae) nest. The results also showed significant differences between the answers of students living in urban and rural areas on the questions about the functions of bird songs. However, no significant difference was found for the answers given for the others questions addressed in the survey. According to the pedagogical proposals of the schools, none of them carry out activities with the purpose of understanding the ecological functions of birds. However, all of them execute activities focused on the environment, which can help in some way to learn about ecology. Regarding the knowledge about birds is necessary to understand the reasons for the similarity of the answers given by students who live in rural areas and students who live in urban areas. After all, there is great relevance in knowledge about this subject, because it can awaken greater care for the environment.

Keywords: Teaching ecology; Bird ecology; Elementary school; science teaching,

1. Introdução

A Ecologia é a ciência que estuda as inter-relações dos seres vivos e o meio em que vivem (Ricklefs, 2015). Ela possibilita entender a distribuição e a abundância dos organismos e, também, as interações que as determinam (Begon et al., 2007). Além disso, o estudo da ecologia permite analisar as adaptações das espécies ao meio em que elas vivem, considerando as escalas espaciais (i.g. adaptações a diferentes habitats) e temporais (i.g. surgimento de espécies em épocas diferentes) (Begon et al., 2007; Ricklefs, 2015). Diante da sua importância, o estudo da Ecologia faz parte dos conteúdos curriculares nas disciplinas de Ciências e Biologia do Ensino Fundamental e do Ensino Médio, respectivamente (Brasil, 2018).

No ensino básico, geralmente, os conteúdos são ensinados com o uso de métodos de memorização dos conceitos teóricos, seguidos de exemplos isolados e, frequentemente, distantes da vivência dos estudantes (Brasil, 1998; Oliveira & Paranhos, 2017). Esse método dificulta a compreensão dos conteúdos ensinados e vai contra as premissas dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs). Segundo esse documento, o ensino deve considerar a interação dos estudantes com a natureza por meio de suas relações sociais, da ciência, da arte e da tecnologia (Brasil, 1998). Além disso, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), aprovada em 2018, ressalta que entre as competências da educação básica estão: “exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas”.

De acordo com as recomendações e obrigações legais contidas na Constituição Federal, Art. 225, parágrafo 1º, inciso VI, “cabe ao poder público promover a educação

ambiental em todos os níveis de ensino e a conscientização pública para a preservação do meio ambiente”, devendo, também, proteger a fauna e a flora, como citado no inciso VII do mesmo artigo supracitado (Brasil, 1988). Seguindo esse princípio, a LDB, em seu Art. 32 inciso II, diz que o ensino fundamental tem como um dos seus objetivos “a formação básica do cidadão mediante a compreensão do ambiente natural e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade” (Brasil, 1996). Além das orientações no âmbito federal, na esfera do sistema de ensino do Distrito Federal, temos o Currículo em Movimento da Educação Básica da Secretaria de Educação do Distrito Federal – SEDF, documento norteador que define ser um dos objetivos do ensino fundamental possibilitar o aprendizado com a inclusão do eixo transversal da Educação para a Sustentabilidade. Assim, fica claro que cada escola integrante da SEDF deve trabalhar a educação com ações interdisciplinares, abrangendo conhecimentos sobre o meio ambiente e os cuidados que se deve ter para preservá-lo para as presentes e futura gerações.

O ensino da ecologia enfrenta vários desafios no cotidiano de sala de aula. Isso acontece porque são trabalhados diversos conceitos que podem ser excessivamente abstratos para estudantes do Ensino Fundamental. Além disso, alguns conceitos encontrados em livros didáticos apresentam a definições incorretas, o que exige que professores do ensino básico tenham conhecimentos bem embasados e procurem utilizar recursos pedagógicos que possam sanar esses problemas (Krizek & Muller, 2021). Nesse sentido, as aves, por exemplo, por estarem presentes em diversos lugares, atraírem a atenção das pessoas, sendo vistas e ouvidas com facilidade (Baptista & Keister, 2005; S. de F. Lopes & Santos, 2004), podem tornar-se um excelente recurso didático (Allenspach & Zuin, 2013; Costa, 2007), já que não causam repulsa, como acontece com os morcegos em alguns casos (C. M. da Silva & Silva, 2020). Outro motivo a ser considerado é o fato

de que a observação da natureza ajuda a estimular a memória, melhorar a atenção e a concentração dos estudantes (Berman et al., 2008).

Compreender as diferenças entre o nível de conhecimento dos estudantes da educação básica sob diferentes aspectos pode ajudar na construção de novas propostas pedagógicas que auxiliem na compreensão dos conceitos definidos pela ecologia. Assim, este estudo tem como objetivos comparar diferenças no nível de conhecimento de estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental com base em conhecimentos sobre a ecologia e espécies de aves presentes no DF. O 9º ano foi escolhido por ser o último ano do ensino fundamental, garantindo que os estudantes já tiveram contato com o ensino dos conceitos ecológicos nos anos anteriores. Para tanto, considere três variáveis, quais sejam: (1) estudantes de áreas rurais e urbanas, (2) estudantes que frequentam as escolas pesquisadas por tempo maior ou menor que dois anos (ou seja, antes e durante o período da pandemia do SARS-COV-2) e (3) a escolaridade da mãe/ pai/ responsável legal. Além disso, verifiquei se as escolas da rede pública de ensino do Distrito Federal realizam trabalhos voltados para a ecologia das aves pertencentes ao Cerrado e se esses trabalhos influenciam nos conhecimentos adquiridos pelos estudantes.

As hipóteses levantadas no estudo são: (1) estudantes de áreas urbanas têm menor conhecimento sobre as aves e suas funções ecológicas do que estudantes que vivem em áreas rurais; (2) quanto maior o nível de escolaridade dos responsáveis pelos estudantes, maior será o conhecimento que esses últimos terão sobre os assuntos abordados; (3) estudantes que frequentam escolas com projetos pedagógicos voltados para o ensino da ecologia e que estudam nelas há mais de dois anos, conhecem mais sobre ecologia e sobre as aves do que aqueles que frequentam essas escolas há menos de dois anos.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

Esta pesquisa, autorizada pelo Conselho de Ética da Universidade de Brasília (parecer número 4.626.385) foi realizada em escolas da rede pública de ensino do Distrito Federal (região central do Brasil, limitado entre os paralelos de 15°56' e 16°06' Lat S e os meridianos de 47°30' e 48°28' Long W), ou seja, escolas pertencentes à rede de ensino da Secretaria de Educação do Distrito Federal (SEDF). De acordo com o censo escolar de 2020, essa rede de ensino possui 458.805 estudantes matriculados(as), de modo que 274.270 estão no ensino fundamental. No total, são 685 unidades escolares distribuídas em áreas urbanas e rurais, sendo 153 unidades de ensino fundamental II (Centros de Ensino Fundamental – CEFs); 37 unidades de ensino médio (Centros de Ensino Médio – CEMs) e 63 unidades voltadas tanto para o EF quanto para o EM, chamadas de Centros Educacionais (CEDs). (Governo do Distrito Federal, 2020).

Para este estudo, selecionei, aleatoriamente, escolas entre CEFs e CEDs pertencentes às regionais de ensino do Paranoá, de Brazlândia, de São Sebastião e de Sobradinho. Sorteie duas escolas de áreas urbanas (das regionais de ensino do Paranoá – CED Darcy Ribeiro – e de Sobradinho – CEF 03 de Sobradinho) e outras três escolas de área rural (das regionais de ensino de Brazlândia – CED Incra 8 – do Paranoá – CED do PAD-DF – e de São Sebastião – CEF Nova Betânia).

2.2. Coleta de dados

Elaborei um questionário (Anexo 1) com seis perguntas sobre dados sociais referentes a estudantes e seus responsáveis e onze perguntas referentes aos conhecimentos relacionados às aves. Adicionei uma última pergunta para que os estudantes informassem se adquiriram conhecimentos sobre os assuntos abordados

somente na escola ou se responderam com informações que adquiridas fora de sala de aula. Esse questionário continha frases curtas e palavras simples, adequadas ao nível de conhecimento correspondente à escolaridade dos estudantes, anônimo e em formato semiestruturado, ou seja, com questões de respostas livres ou pré-definidas.

No questionário, foram consideradas as seguintes variáveis independentes: ser de área rural ou urbana (rural, urbana); tempo de matrícula na escola participante da pesquisa (menos de 2 anos, mais de 2 anos) e nível de escolaridade do responsável (sem escolaridade, fundamental, médio, superior). As variáveis dependentes estavam relacionadas às alternativas das questões voltadas para as funções ecológicas das aves e para a identificação de algumas das espécies encontradas no DF, ou seja, as variáveis dependentes foram calculadas de acordo com as alternativas marcadas pelos estudantes.

Apliquei o questionário de forma *online*, pela plataforma *Google forms*, para as turmas do 9º ano do Ensino Fundamental das cinco escolas participantes da pesquisa, do dia 15 de abril ao dia 21 de maio de 2021. Para que os estudantes fossem convidados a participar da pesquisa, pedi aos professores de Ciências que os incentivassem a participar da pesquisa, deixando claro que a participação seria voluntária e sem qualquer benefício, por exemplo, como notas extras ou qualquer tipo de premiação. O *link* para o questionário foi disponibilizado na plataforma onde as aulas da SEDF estavam sendo realizadas de forma remota durante o período de pandemia do SARS-COV-2. Junto ao questionário, estavam disponíveis, também, o Termo de Consentimento e Livre Esclarecido (TCLE) e o Termo de Assentimento e Livre Esclarecido (TALE), exigidos pelo Conselho de Ética da Universidade de Brasília para a realização de pesquisa com seres humanos. Dessa forma, só participaram da pesquisa estudantes do 9º ano, matriculados nas escolas participantes e com as devidas autorizações (TCLE e TALE), todas assinadas digitalmente.

Além disso, foi realizado o estudo da Proposta Pedagógica (PP) referente ao ano de 2019 de cada unidade de ensino. A PP é um documento produzido pela equipe pedagógica das escolas (professores, coordenação e direção), que apresenta a proposta educacional da instituição de ensino, sendo esse pautado nas Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica e na Lei de Diretrizes e Bases da educação Nacional (Lei 9.394/96) (Distrito Federal, 2012). Verifiquei as atividades pedagógicas que cada escola realizou naquele ano, fazendo um levantamento dos tipos de projetos pedagógicos voltados para conhecimentos relacionados à Ecologia e projetos direcionados para o conhecimento ecológico acerca das aves presentes no DF.

2.3. *Análises estatísticas*

As informações obtidas junto aos estudantes foram analisadas sob uma perspectiva quantitativa. Para isso, utilizei o programa R v4.1.1 (RCore Team, 2021) para verificar se havia ou não diferença entre as variáveis “tempo de escola”, “nível de escolaridade dos responsáveis” e “estudantes de áreas urbanas ou rurais”. Fiz uso de Modelos Lineares Generalizados (GLM), fixando em 0,05 o nível de rejeição da hipótese de que não havia diferença entre as variáveis supracitadas. Para os cálculos, considerei alternativas certas e erradas e contabilizei as certas, considerando como valores das variáveis dependentes os números de acertos. Dessa forma, os GLMs foram calculados de acordo com o número de acertos para cada uma das variáveis explanatórias.

3. Resultados

3.1. *Questionários*

A população do estudo constitui-se de 123 estudantes do 9º ano do Ensino Fundamental. Suas idades variaram entre 13 e 16 anos, sendo a idade média igual a 14

anos e 2 meses. A tabela 1 contém uma síntese do número de estudantes em cada variável explanatória.

Tabela 1: Número de estudantes em de cada variável explanatória.

Onde mora	Nº de estudantes
Área rural	54
Área urbana	69
Tempo na escola pesquisada	
Menos de 2 anos	25
2 anos ou mais	98
Escolaridade da(o) responsável	
Sem escolaridade	21
Fundamental	13
Médio	42
Superior	47
Total	123

Para a questão aberta do questionário (questão 1 do anexo), ao comparar respostas que indicassem se os estudantes sabem ou não sabem responder à questão, não houve diferença significativa para nenhuma das variáveis explanatórias. Nessa questão, mais de 50% dos estudantes informaram não saber responder ou responderam de forma errada, como apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Respostas referentes à questão aberta sobre função ecológica das aves:

Alternativas	Respostas dadas (%)	
	Estudantes de áreas rural	Estudantes de áreas urbana
Dispersão de sementes	16,7	17,4
Polinização	9,3	14,5
Cadeia alimentar	5,6	7,2
Controle de pragas	7,4	2,9
Não sabem responder	61,1	58

Os resultados obtidos com o GLM mostram que houve diferença significativa nas respostas dadas para as questões sobre: espécies conhecidas pelos estudantes (questão 2), reconhecer a imagem de um ninho de joão-de-barro (*Furnarius rufus*) (Gmelin, 1788) (questão 4) e funções dos cantos das aves (questão 11). Nas questões 2 e 4, houve diferença significativa entre estudantes que frequentavam a escola participante da pesquisa há menos de dois anos e estudantes que estavam na escola há mais de dois anos, ou seja, estudantes que estavam na escola pesquisada há mais de dois anos acertaram mais entre as alternativas dadas nas questões do que estudantes que estavam na escola pesquisada há menos de dois anos. Na questão 11, houve diferença significativa entre estudantes que moram em área rural e estudantes que moram em área urbana (Tabela 3), de forma que estudantes de área rural acertaram mais alternativas sobre as funções dos cantos das aves do que estudantes que moram em áreas urbanas. Com relação às outras sete questões, assim como na questão aberta, os resultados obtidos foram, predominantemente, homogêneos, ou seja, sem diferença significativa para essas duas variáveis. Com relação ao nível de escolaridade da mãe/ pai/ responsável legal, não houve diferença significativa entre nenhuma das questões analisadas.

Tabela 3: Resultados dos Modelos Lineares Generalizados (GLM) entre as variáveis explanatórias e as respostas dadas pelos estudantes para a questão 2 (conhecer as espécies listadas nas alternativas), a questão 4 (reconhecer a imagem de um ninho de joão-de-barro) e a questão 11 (indicar função dos cantos das aves entre as alternativas listadas). Os valores em negritos indicam os valores de significância ($p < 0,05$).

Questão	Modelo	Estimado	Erro padrão	valor de z	valor de p
Questão 2	tempo	0.2256	0.115	1.962	0.0498
Questão 4	tempo	-2.069	0.7706	-2.685	0.00726
Questão 11	área	0.853	0.432	1.975	0.0483

Nota: O modelo denominado tempo se refere ao tempo que os estudantes frequentam a escola participante da pesquisa e o modelo denominado área se refere às áreas rurais ou urbanas (local onde estudantes moram).

3.2. *Propostas Pedagógicas*

De acordo com as propostas pedagógicas das unidades de ensino participantes da pesquisa, todas elas realizam, pelo menos, uma atividade voltada para temas ecológicos. Entretanto, nenhuma apresentou qualquer atividade voltada especificamente para o conhecimento sobre as aves (Tabela4).

Tabela 4: Atividades pedagógicas voltadas para o meio ambiente realizadas em cada escola participante da pesquisa.

Escolas rurais	Projetos desenvolvidos
CED Incra 8	<p>Click no Cerrado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Local: Parque Nacional de Brasília • Voltado para conscientização da preservação do cerrado • Estudantes fotografam o que lhes chamar atenção durante a visita ao parque • Eleição da melhor fotografia.
CED PAD-DF	<p>Utilização de um laboratório de Ciências</p> <p>Revitalização do espaço escolar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Construir sala ecológica com variedades de plantas; • Piscicultura integrados à horta; • Interação com a natureza e reconhecimento de diferentes espécies. <p>Iniciação científica com práticas no laboratório:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar projetos em parceria com discentes; • Associar conteúdo curriculares de interesse dos estudantes para estimular a iniciação científica. <p>Piscicultura na escola:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Discutir sobre uso sustentável da água, produção de alimentos sustentáveis com a produção de hortaliças e plantas frutíferas, trabalhar funções de minerais, como fósforo, cálcio e potássio, para o solo; • Promover respeito às plantas, aos animais; • Desenvolver trabalhos voltados para conservação da água e dos mananciais, piscicultura e aquicultura, preservação do cerrado (ecossistema/bioma local).
CEF Nova Betânia	<p>Festa do campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Exposição de produtos regionais que incluem sementes e mudas utilizadas pela comunidade local. <p>Semana de educação para vida no campo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar palestras, seminários, exposições-visita, projeções de slides, oficinas, rodas de conversa, feiras, jogos,

	apresentações, mostras audiovisuais que envolvem assuntos que permeiam temas voltados para a ecologia.
	Horta: <ul style="list-style-type: none"> • Escolher e delimitar a melhor área de plantio, capinar, revolver a terra, plantar, regar e acompanhar o desenvolvimento dos vegetais; • Reconhecer tipos de solo; • Trabalhar a importância do cultivo; • Trabalhar processo de desenvolvimento dos vegetais; • Trabalhar importância das hortaliças; • Identificar plantas medicinais.

Escolas urbanas CED Darcy Ribeiro	<p>Laboratório para aulas práticas</p> <p>Visita noturna ao zoológico</p> <p>Semana cultural e científica: <ul style="list-style-type: none"> • Feira de Ciências para estimular aprendizado com base na experimentação. </p> <p>Semana do uso sustentável da água: <ul style="list-style-type: none"> • Realizar palestras com a participação de convidados; </p> <p>Educação Ambiental: <ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar quais são as fontes de água e seu uso consciente; • Reciclagem e coleta seletiva; • Tipos de poluição geradas pela sociedade (água, ar, solo, visual) </p>
CEF 03 de Sobradinho	<p>Jardinagem;</p> <p>Revitalização das áreas verdes;</p> <p>Campanha CEF 03 mais limpo;</p> <p>Trilha no parque do jequitibá: <ul style="list-style-type: none"> • Conservação de áreas naturais; • Escassez de água; • Poluição dos recursos hídricos; • Entender processos de erosão; • Descarte correto de lixo urbano </p>

4. Discussão

O objetivo deste estudo é verificar se existe diferença no nível de conhecimento sobre a ecologia das aves e sobre as aves presentes no DF entre os estudantes do 9º ano

do EF a partir de três aspectos: estudantes de áreas urbanas e rurais; estudantes que frequentavam a escola participante da pesquisa por um tempo maior ou menor que dois anos; e os níveis de escolaridade da mãe/ pai/ responsável legal. Verifiquei que estudantes matriculados nas escolas participantes da pesquisa por um período maior ou igual a dois anos conhecem um número significativamente maior de espécies de aves do que aqueles que frequentam a mesma escola por um período menor. Esse mesmo resultado foi obtido com relação ao reconhecimento da imagem de um ninho de joão-de-barro. Observei, também, que estudantes de área rural têm mais conhecimento sobre as funções das vocalizações das aves do que estudantes de áreas urbanas. Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas para nenhuma dessas variáveis explanatórias no que se refere às outras sete questões do questionário.

As variáveis referentes à escolaridade da mãe/ pai/ responsável legal pelos estudantes, diferentemente do que eu esperava, não apresentaram diferença significativa para nenhuma das questões constantes no questionário. Soares e Collares (2006) explica que esse resultado é esperado, pois vários outros fatores culturais se sobressaem ao fator “nível de escolaridade da família” no que diz respeito às condições de aprendizado dos estudantes.

4.1. Resultados dos questionários

De acordo com os projetos descritos nas PPs, as cinco escolas participantes da pesquisa realizam atividades em ambientes fora da sala de aula que contemplam temas da Educação Ambiental. Essas atividades, de acordo com essas propostas, acontecem dentro do próprio terreno da unidade de ensino ou em parques que possibilitam atividades pedagógicas de observação da natureza. Assim, a diferença significativa encontrada entre as respostas dadas às questões 2 (espécies que reconhecem pelo nome popular) e 4 (ninho de joão-de-barro) do questionário podem ser justificadas pela realização dessas

atividades, uma vez que atividades realizadas em áreas abertas facilitam a visualização de mais espécies de aves. Isso acontece porque atividades pedagógicas realizadas em locais como jardins ou parques de áreas naturais permitem aumentar a percepção dos estudantes quanto às espécies presentes nesses ambientes (Hanzen, 2015; V. A. da Silva et al., 2021).

Diferentemente do que era esperado, não verifiquei diferença significativa entre as respostas dadas para a questão 2 no que se refere à variável “estudantes de áreas urbanas e rurais”. Entretanto, pode ser que os estudantes de áreas rurais conheçam mais espécies entre as listadas nas alternativas, mas com nomes diferentes dos utilizados na questão, já que uma única espécie pode receber nomes diferentes ainda que entre comunidades de uma mesma região (de Farias & Alves, 2007).

Outro resultado indicado pelas análises foi a diferença significativa entre as respostas obtidas de estudantes de áreas rurais e as de estudantes de áreas urbanas na questão 11 (função dos cantos das aves). De acordo com os resultados, os estudantes de áreas rurais identificaram, entre as opções apresentadas na questão, mais funções para as vocalizações das aves do que os estudantes de áreas urbanas. Esse resultado pode ser justificado pelas diferenças que podem existir no cotidiano dos estudantes que moram em áreas rurais e aqueles que moram em áreas urbanas. Um exemplo disso é a prática de capturar animais para serem criados em cativeiro. Ainda que contrário aos princípios que regem a conservação das espécies, esse é um comportamento, que precisa ser modificado, mas que é recorrente de alguns moradores de áreas rurais com relação a determinadas espécies de aves (Nobrega et al., 2011; D. R. M. dos Santos & Praça, 2015; R. Vieira et al., 2021), o que pode aumentar a familiaridade com as diferentes formas de vocalização. Além disso, moradores de áreas rurais reconhecem algumas vocalizações das aves como indicadores de chuva (i.g. sabiá, seriema, anum-preto) nas épocas chuvosas do ano

(Bastos & Fuentes, 2015; de Araujo et al., 2005). Dessa forma, existe maior possibilidade de que estudantes de áreas rurais conheçam melhor sobre as vocalizações das aves do que estudantes de áreas urbanas.

Alguns estudos mostram que moradores de áreas rurais percebem algumas mudanças ambientais em consequência do mal uso dos recursos naturais (Barbosa et al., 2017; Carvalho et al., 2019), como a queda na riqueza e na abundância de espécies pertencentes à fauna silvestre do local onde vivem (P. R. Lopes et al., 2012). Assim, é possível que estudantes que vivem em áreas rurais tenham maior conhecimento referente à ecologia do local onde vivem, mas desconhecem os termos científicos utilizados em sala de aula. Isso fica claro nas respostas dadas à questão aberta (questão 1), em que cada estudante deveria citar uma função ecológica relacionada às aves. Algumas das funções citadas foram “ajudam as flores” e “semear”, que, possivelmente, se referem à “polinização” e à “dispersão de sementes”, respectivamente.

4.2. Importância da realização de atividades diferenciadas para o aprendizado

A fim de melhorar o aprendizado dos conceitos da Ecologia, os professores de ciências deveriam realizar atividades diferenciadas (i.g. observação da natureza, realização de jogos que estimulem o entendimento da relação entre as aves e conceitos ecológicos, como polinização, predação, controle de insetos) na abordagem dos conteúdos pedagógicos. Uma forma de fazer isso é associando informações que os estudantes já têm com os termos científicos a serem estudados nas disciplinas. O uso de aulas práticas é extremamente eficaz nesse sentido, pois possibilitam que os estudantes contextualizem fenômenos explicados pela ciência com experiências do dia a dia (Souza et al., 2014), facilitando o entendimento dos conceitos científicos. Dessa forma, como verificado por Vieira et al. (2005), aulas realizadas em espaços não-formais, como jardins botânicos, zoológicos ou museus, podem estimular o aprendizado, promovendo a

absorção do conhecimentos de forma mais ampla, podendo proporcionar uma visão global do que está sendo ensinado (Costa, 2007).

Uma forma de realizar atividades práticas que possam ser prazerosas e atrativas para estudantes da educação básica é com o uso da observação de aves. Silva et al. (2021) obtiveram resultados significativos ao realizar atividades de observação da avifauna com estudantes da educação básica, em um parque municipal de Juína, Mato Grosso. Nesse trabalho, após as observações realizadas no parque, os estudantes fizeram conexões entre as informações aprendidas sobre as funções ecológicas das aves (controle de insetos, dispersão de sementes e polinização) e a o tipo de alimentação utilizada por elas. Além disso, os pesquisadores perceberam que realizar atividades de observação de aves em campo promove maior atenção à conservação ambiental, incentivando comportamentos de maior cuidado com os ambientes naturais.

Outra forma de trabalhar conceitos ecológicos envolvendo as aves é com o uso de jogos que relacionem imagens e conceitos teóricos. Uma forma de ajudar a fixar os conteúdos e ainda ajudar na interação entre discentes e docentes. Os jogos podem ser realizados com simulações teatrais improvisadas que estimulem a criação de estratégias de sobrevivência, estimulando a criatividade e introduzindo conceitos teóricos que acabam sendo compreendidos com mais facilidade (T. K. F. da Silva, 2017), ou mesmo jogos de tabuleiro que podem ser produzidos juntamente com os estudantes, estimulando o aprendizado desde a produção do material (Tomazelli & Franz, 2017).

Santos e Praça (2015) observaram que muitos estudantes chegam ao ensino médio com poucas informações sobre a avifauna do local onde vivem. Um dos motivos é o fato de que os livros didáticos utilizados em sala de aula trazem poucos exemplos sobre a fauna brasileira (Miranda et al., 2020), além de abordarem assuntos que envolvem a avifauna de forma superficial (C. F. dos Santos et al., 2012; V. A. da Silva et al., 2021).

Assim, atividades realizadas em ambientes que permitam a observação de aves ou a realização de jogos voltados aos conteúdos pedagógicos facilitam o aprendizado e ampliam as possibilidades para que os estudantes façam observações mais precisas sobre as espécies presentes nos locais que frequentam. Afinal, trabalhar os conteúdos escolares somente em sala de aula e/ou somente com o uso do livro didático pode acarretar aprendizado superficial.

Com os resultados obtidos, percebo que um questionário mais rico em imagens dissiparia quaisquer dúvidas sobre os estudantes conhecerem ou não acerca dos assuntos abordados ou se a utilização de um glossário e/ou variantes linguísticas teria sido mais eficaz para obtenção desses resultados. Outro fator importante observado aqui é a importância da análise dos livros didáticos utilizados pelas escolas, já que, invariavelmente, eles não trabalham os assuntos ecológicos com foco voltado para a fauna brasileira. Assim, estudos futuros deveriam trabalhar com análises dos livros didáticos utilizados nas escolas do DF juntamente com a aplicação de questionários. Isso ajudaria a verificar se as lacunas no nível de conhecimento dos estudantes também têm relação com livros mal adaptados à realidade de ambientes localizadas nas regiões onde o bioma Cerrado predomina, já que, de acordo com os resultados obtidos, o nível de escolaridade da família dos estudantes não influencia no conhecimento sobre a avifauna e sua ecologia.

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo indicam que existe uma defasagem no conhecimento que os estudantes possuem em relação aos conceitos da Ecologia e em relação às aves presentes no DF. Uma forma de minimizar isso seria com a realização de atividades pedagógicas fora da sala de aula, com trabalhos voltados para a observação de aves ou com o uso de jogos que envolvam as aves e suas características ecológicas. Essas

atividades podem ser uma excelente alternativa para que estudantes da educação básica compreendam melhor algumas funções ecológicas normalmente trabalhadas sem contextos do cotidiano dos estudantes. Essas atividades podem proporcionar uma visão mais ampla dos conteúdos abordados na disciplina de ciências/biologia, indo além do que os livros didáticos podem propiciar, pois eles não apresentam conteúdo voltado à fauna brasileira e geralmente são superficiais em conteúdos sobre a avifauna. Além disso, existe grande relevância em proporcionar aos estudantes do ensino básico maior acesso ao conhecimento sobre ecologia das aves, pois esse tipo de conhecimento pode estimular maior atenção ao cuidado com o meio ambiente por parte das novas gerações, como, por exemplo, o combate à prática da captura e manutenção de animais em cativeiro.

Verifiquei que as escolas participantes da pesquisa não realizam atividades voltadas para o estudo da ecologia da avifauna, porém algumas pesquisas indicadas neste trabalho mostram que estudar seus aspectos ecológicos é bastante efetivo para que os estudantes obtenham uma visão mais ampla acerca dos cuidados com o meio ambiente. Além disso, constatei que é preciso aprofundar a investigação que possa responder quais motivos podem demonstrar que estudantes que vivem em áreas rurais apresentam conhecimentos similares aos dos estudantes de que vivem em áreas urbanas no que diz respeito às aves.

Referências

- Allenspach, N., & Zuin, P. B. (2013). *Aves como subsídio para a Educação Ambiental: Perfil das iniciativas brasileiras*. 8.
- Baptista, L. F., & Keister, R. A. (2005). Why Birdsong Is Sometimes Like Music. *Perspectives in Biology and Medicine*, 48(3), 426–443. <https://doi.org/10.1353/pbm.2005.0066>
- Barbosa, H. D. O., De Souza, M. F., Ondei, L. D. S., & Teresa, F. B. (2017). Conhecimento ecológico local e percepção dos impactos ambientais por moradores da zona rural sobre riachos e peixes da Bacia do Alto Rio Tocantins, Goiás, Brasil. *Ethnoscientia*, 2(1). <https://doi.org/10.22276/ethnoscientia.v2i1.63>
- Bastos, S., & Fuentes, M. C. (2015). O USO DA ETNOCLIMATOLOGIA PARA A PREVISIBILIDADE DE CHUVAS NO MUNICÍPIO DE RETIROLÂNDIA-BA. *Revista do CERES*, 1(2), 176–183.
- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2007). *Ecologia: De indivíduos a ecossistemas* (4ª). Artmed.
- Berman, M. G., Jonides, J., & Kaplan, S. (2008). The Cognitive Benefits of Interacting With Nature. *Psychological Science*, 19(12), 1207–1212. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02225.x>
- Brasil. (1998). *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências Naturais—Ensino da Quinta a Oitava séries*. MEC/SEF. <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencias.pdf>
- Brasil. (2018). Base Nacional Comum Curricular. *Ministério da Educação, Brasília*, 472.
- Carvalho, D. A., Xavier, K. A. da S., Souza, M. F. de, & Blamires, D. (2019). Conhecimento empírico de produtores rurais sobre biodiversidade e impactos ambientais nas vegetações ripárias em Diorama, estado de Goiás. *Ethnoscientia*, 4(1). <https://doi.org/10.22276/ethnoscientia.v4i1.226>
- Costa, R. G. de A. (2007). Observação de aves como ferramenta didática para educação ambiental. *Revista Didática Sistemática*, 6, 33–44.
- da Silva, T. K. F. (2017). Uso do jogo didático como facilitador de conhecimentos ecológicos e sociais. *Revista Vivências Em Ensino de Ciências*, 1, 80–85.

- de Araujo, H. F. P., de Lucena, R. F. P., & Mourão, J. da S. (2005). Prenúncio de chuvas pelas aves na percepção de moradores de comunidades rurais no município de Soledade-PB, Brasil. *Interciencia*, 30(12), 764–769.
- de Farias, G. B., & Alves, Â. G. C. (2007). É importante pesquisar o nome local das aves? *Revista Brasileira de Ornitologia*, 15((3)), 403–408.
- Distrito Federal. (2012). *Projeto Político Pedagógico Professor Carlos Mota*.
- Governo do Distrito Federal. (2020). *Escolas e estudantes*.
<https://www.educacao.df.gov.br/escolas-e-estudantes/>
- Hanzen, S. M. (2015). O acréscimo do conhecimento sobre aves aplicado à educação ambiental na escola Estadual Senador Filinto Müller no município de Ivinhema – MS. *Atualidades Ornitológicas*, 188, 33–37.
- Krizek, J. P. O., & Muller, M. V. D. V. (2021). Desafios e potencialidades no ensino de ecologia na educação básica. *Revista de Ensino de Biologia da SBEnBio*, 700–720.
<https://doi.org/10.46667/renbio.v14i1.401>
- Lopes, P. R., Souza, I. F. de, Leme, M., Brandão, J. A. V., Costa, R. M. G. F., & Figueiredo, R. A. de. (2012). Diagnóstico socioambiental: O meio ambiente percebido por estudantes de uma escola rural de Araras (SP). *Pesquisa em Educação Ambiental*, 6(1), 139–155.
<https://doi.org/10.18675/2177-580X.vol6.n1.p139-155>
- Lopes, S. de F., & Santos, R. J. (2004). Observação de aves: Do ecoturismo à educação ambiental. *Caminhos de Geografia*, 5(13), 19.
- Miranda, C. B., Garcia, D. A. Z., & Vidotto-Magnoni, A. P. (2020). Os vertebrados brasileiros em livros didáticos de biologia. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 15(7), 71–85. <https://doi.org/10.34024/revbea.2020.v15.10585>
- Nobrega, V., Barbosa, J., & Alves, R. (2011). Utilização de aves silvestres por moradores do município de Fagundes, Semiárido paraibano: Uma abordagem etno-ornitológica. *SITIENIBUS Série Ciências Biológicas*, 11. <https://doi.org/10.13102/scb106>

- Oliveira, N. C. R. de, & Paranhos, J. D. N. (2017). Ensino de Zoologia: Percepção de alunos e professores em escola de ensino básico sobre fauna edáfica. *Experiências em Ensino de Ciências*, 12(6), 279–291.
- Ricklefs, R. E. (2015). *Economia da Natureza* (5ª). Guanabara Koogan.
- Santos, C. F. dos, Silva, L. G. de L., & Lima, R. N. (2012, August 7). *Aves: Análise comparativa das informações em livros didáticos de biologia*. VII CONNEPI - Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação.
<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/view/1523>
- Santos, D. R. M. dos, & Praça, A. V. da S. (2015). Conhecimento da avifauna pelos alunos do ensino médio do Instituto Marcos Freitas (IMF) Unidade Duque de Caxias (Rio de Janeiro, Brasil). *Atualidades Ornitológicas On-Line*, 187, 55–60.
- Silva, C. M. da, & Silva, L. A. M. da. (2020). Morcegos e o ensino de Ciências: A percepção dos professores e a aplicação em sala de aula. *Revista Insignare Scientia - RIS*, 3(5), 77–97. <https://doi.org/10.36661/2595-4520.2020v3i5.11304>
- Silva, V. A. da, Nunes, J. R. da S., & Silva, P. S. L. da. (2021). A observação de aves como facilitador do ensino de Biologia. *Research, Society and Development*, 10(11), e476101119674. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19674>
- Soares, J. F., & Collares, A. C. M. (2006). Recursos familiares e o desempenho cognitivo dos alunos do ensino básico brasileiro. *Dados*, 49(3), 615–650.
<https://doi.org/10.1590/S0011-52582006000300007>
- Souza, A. P. A. de, Silva, J. R. da, Arruda, R. M. de, Almeida, L. I. M. V. de, & Carvalho, E. T. de. (2014). A Necessidade da Relação Entre Teoria e Prática no Ensino de Ciências Naturais. *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas*, 15.
<https://doi.org/10.17921/2447-8733.2014v15n0p%p>
- Tomazelli, J., & Franz, I. (2017). Observação de aves em arroio em meio urbano como um projeto de educação ambiental. *Revista Conhecimento Online*, 1, 89–97.
- Vieira, R., Souza, H., Bento, H., Costa, T., & Feliciano, M. (2021). Interfaces entre pesquisa e ensino: Estratégias para sensibilização dos alunos do ensino básico para conservação da

fauna silvestre, em especial o *Tayassu pecari*. *Enciclopédia Biosfera*, 18(35).

https://doi.org/10.18677/EnciBio_2021A9

Vieira, V., Bianconi, M. L., & Dias, M. (2005). Espaços não-formais de ensino e o currículo de ciências. *Ciência e Cultura*, 57(4), 21–23.

Anexo 1

Questionário online

O que você sabe sobre as aves?

Olá! Meu nome é Angela Dutra Araujo, sou professora da Secretaria de Educação do Distrito Federal e, atualmente, estou cursando mestrado na Universidade de Brasília. Estou realizando uma pesquisa sobre as aves presentes no DF e sobre o conhecimento dos estudantes da rede pública de ensino sobre esse tema, além de estudar os projetos pedagógicos das escolas participantes na pesquisa para saber como as escolas têm trabalhado os temas de ecologia de maneira diversificada.

O objetivo dessa pesquisa é saber o que os estudantes do ensino básico conhecem sobre a ecologia das aves de um modo geral e sobre as aves presentes no Distrito Federal.

Pedimos aos estudantes pertencentes aos nonos anos dessas escolas que participem dessa pesquisa respondendo a esse questionário.

Antes, devo ressaltar que, para responder ao questionário, o Termo de Consentimento Livre Esclarecimento (TCLE) deve ser assinado pelo/pela responsável do/da estudante menor de 18 anos, consentindo sua participação na pesquisa, e o Termo de Assentimento Livre Esclarecimento (TALE) deve ser assinado pelo estudante menor de 18 anos, afirmando aceitar participar da nossa pesquisa. Esses termos aparecerão nas próximas duas seções para, em seguida, dar início ao nosso questionário.

Dessa forma, nesse formulário estão disponíveis o TCLE e o TALE, seguidos de 6 perguntas sobre dados sociais referentes aos estudantes aos seus responsáveis, em seguida, 11 perguntas referentes aos conhecimentos relacionados às aves e, para finalizar o questionário, o estudante deve informar se aprendeu sobre os assuntos respondidos somente na escola ou se soube responder alguma das perguntas com informações que obteve ao longo da vida fora de sala de aula. DEVO RESSALTAR QUE NENHUMA PERGUNTA SERÁ REFERENTE A DADOS QUE IDENTIFIQUEM O(A) ESTUDANTE E SEUS RESPONSÁVEIS, DE MODO QUE TODOS(AS) SE SINTAM À VONTADE PARA RESPONDER ÀS PERGUNTAS CONTIDAS NO QUESTIONÁRIO.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE):

Senhor/Senhora pai/mãe/responsável,

Gostaríamos de obter seu consentimento para que o/a estudante, menor de idade, sob sua responsabilidade, possa participar como voluntário(a) da pesquisa intitulada “RIQUEZA E

DIVERSIDADE DE AVES NO GRADIENTE URBANO DO DF E O CONHECIMENTO ECOLÓGICO SOBRE A AVIFAUNA POR ESTUDANTES DO ENSINO BÁSICO”, de responsabilidade de Angela Dutra Araujo, estudante de mestrado da Universidade de Brasília e seu orientador, Ricardo Bomfim Machado. O objetivo desta pesquisa é saber o que os estudantes do ensino básico conhecem sobre a ecologia das aves de um modo geral e sobre as aves presentes no Distrito Federal, verificando se existe diferença entre os conhecimentos de estudantes que moram em áreas urbanas e rurais.

A forma de participação dos/das estudantes acontecerá de forma 100% on-line, devendo primeiro ler, compreender, aceitar participar e assinalar que concorda com o Termo de Assentimento Livre Esclarecido (TALE). Em seguida, por meio desta plataforma "Google Forms", o/a estudante deverá responder a um questionário que levará de 5 a 10 minutos para finalizar.

Você receberá todos os esclarecimentos necessários antes, durante e após a finalização da pesquisa, e lhe asseguro que o seu nome, ou de sua filha ou filho NÃO será divulgado, sendo mantido o mais rigoroso SIGILO mediante a omissão total de informações que permitam identificá-lo/a. Os dados provenientes de sua participação na pesquisa ficarão sob a guarda da equipe responsável pela pesquisa.

A coleta de dados será realizada somente por meio desse questionário aplicado de forma digital. É para estes procedimentos que os/as estudantes estão sendo convidados(as) a participar. A participação na pesquisa não implica em nenhum risco ou exposição.

Espera-se com esta pesquisa poder verificar se há diferença no conhecimento de estudantes que vivem em áreas urbanas e rurais a respeito das aves e elaborar sugestões didáticas para um melhor ensino de assuntos relacionados ao estudo da Ecologia nas instituições do ensino básico do Distrito Federal.

A participação é voluntária e livre de qualquer remuneração ou benefício. Você é livre para recusar-se a consentir, retirar seu consentimento ou interromper a participação do/ da estudante a qualquer momento. A recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios.

Se você tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, você pode me contatar através do telefone (61) 998233-1010 ou pelo e-mail angela.araujo@aluno.unb.com.br.

A equipe de pesquisa garante que os resultados do estudo serão devolvidos aos participantes por intermédio da direção da escola participante dessa pesquisa, podendo ser publicados posteriormente na comunidade científica.

Este projeto foi revisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais (CEP/CHS) da Universidade de Brasília. As informações com relação à assinatura do TCLE ou aos direitos do participante da pesquisa podem ser obtidas por meio do e-mail do CEP/CHS: cep_chs@unb.br ou pelo telefone: (61) 3107 1592.

Este documento foi elaborado de forma digital e tem validade como documento de autorização para a pesquisa como se fosse um documento físico, uma vez que, devido à pandemia causada pelo novo coronavírus, existe uma dificuldade maior para que o documento físico chegue até mães, pais ou responsáveis pelos estudantes menores de idade.

Assinale o campo abaixo para indicar sua concordância com a participação do/da estudante nessa pesquisa. *

- () Declaro que, como responsável da(o) estudante participante dessa pesquisa, estou ciente da participação dele(a) nessa pesquisa realizada com a aplicação desse questionário. Declaro, também, que li, compreendi e estou de acordo com o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido descrito acima.

Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE):

Você está sendo convidado a participar da pesquisa “RIQUEZA E DIVERSIDADE DE AVES NO GRADIENTE URBANO DO DF E O CONHECIMENTO ECOLÓGICO SOBRE A AVIFAUNA POR ESTUDANTES DO ENSINO BÁSICO”, de responsabilidade de Angela Dutra Araujo, estudante de mestrado da Universidade de Brasília e seu orientador, Ricardo Bomfim Machado. O objetivo desta pesquisa é saber o que os estudantes do ensino básico conhecem sobre a ecologia das aves de um modo geral e sobre as aves presentes no Distrito Federal, verificando se existe diferença entre os conhecimentos de estudantes que moram em áreas urbanas e rurais. Assim, gostaria de consultá-lo/a sobre seu interesse e disponibilidade de cooperar com a pesquisa.

Você receberá todos os esclarecimentos necessários antes, durante e após a finalização da pesquisa, e lhe asseguro que o seu nome não será divulgado, sendo mantido o mais rigoroso sigilo mediante a omissão total de informações que permitam identificá-lo/a. Os dados provenientes de sua participação na pesquisa ficarão sob a guarda da pesquisadora responsável pela pesquisa.

A coleta de dados será realizada por meio de questionário aplicado de forma digital. É para estes procedimentos que você está sendo convidado a participar. Sua participação na pesquisa não implica em nenhum risco ou qualquer tipo de exposição.

Espera-se com esta pesquisa poder elaborar sugestões didáticas para um melhor ensino de assuntos relacionados ao estudo da Ecologia e verificar se há diferença no conhecimento sobre as aves de estudantes que vivem em áreas urbanas e rurais.

Sua participação é voluntária e livre de qualquer remuneração ou benefício. Você é livre para recusar-se a participar, retirar seu consentimento ou interromper sua participação a qualquer momento. A recusa em participar não irá acarretar qualquer penalidade ou perda de benefícios.

e você tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, você pode me contatar através do telefone (61) 98233-1010 ou pelo e-mail angela.araujo@aluno.unb.br.

A equipe de pesquisa garante que os resultados do estudo serão devolvidos aos participantes por intermédio da direção da escola participante dessa pesquisa, podendo ser publicados posteriormente na comunidade científica.

Este projeto foi revisado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais (CEP/CHS) da Universidade de Brasília. As informações com relação à assinatura do TCLE ou aos direitos do participante da pesquisa podem ser obtidas por meio do e-mail do CEP/CHS: cep_chs@unb.br ou pelo telefone: (61) 3107 1592.

Este documento foi elaborado de forma digital e tem validade como documento de autorização para a pesquisa como se fosse um documento físico, uma vez que, devido à pandemia causada pelo novo coronavírus, existe uma dificuldade maior para que o documento físico chegue até as/os participantes da pesquisa.

Marcando a caixinha abaixo, você estará aceitando participar dessa pesquisa. *

Declato aceitar participar dessa pesquisa realizada com a aplicação desse questionário e, também, que estou de acordo com o Termo de Assentimento Livre Esclarecimento descrito acima.

O que você sabe sobre as aves?

***Obrigatório**

Dados sociais

1) Qual a sua idade? *

2) Em qual escola você estuda? *

3) Há quanto tempo você estuda nessa escola? *

- Há menos de um ano.
- Há um ano.
- Há dois anos.
- Há mais de dois anos.

4) Você mora em área rural ou urbana? *

- Rural.
- Urbana.

5) Qual o nível de escolaridade da sua mãe e/ou do seu pai ou responsável legal. (Marque somente o nível mais alto de escolaridade do/da responsável com quem você mora) *

- Sem escolaridade
- Fundamental (ou 1º grau) incompleto
- Fundamental (ou 1º grau) completo
- Ensino Médio (ou 2º grau) incompleto
- Ensino Médio (ou 2º grau) completo
- Superior incompleto
- Superior completo

6) Qual ano do Ensino Fundamental você está cursando? *

Gostaríamos que anotasse aqui seu e-mail oficial da escola para que possamos enviar uma cópia dos documentos de autorização para sua participação nessa pesquisa. (Lembrando que você não será identificado em nenhum momento das etapas dessa pesquisa.)

O que você sabe sobre as aves?

***Obrigatório**

Responda somente sobre o que você sabe

Para que nossa pesquisa realmente registre se você tem conhecimento sobre os assuntos perguntados abaixo, é preciso que você não faça nenhuma pesquisa e responda somente o que souber. Combinado?

amos começar!

1) Escreva uma função ecológica que te lembre a importância das aves na natureza. Caso não saiba, escreva "Não sei". *

2) Sem fazer qualquer pesquisa, marque quais das aves abaixo você reconhece ao ver ou ouvir. *

- Quero-quero
- Bem-te-vi
- João-de-barro
- Sabiá-laranjeira
- Andorinha
- Anu-branco

- Coruja-buraqueira
- Gavião-carijó
- Mãe-da-lua
- Pica-pau-do-campo
- Curicaca
- Não conheço nenhuma dessas

3) Qual ou quais dessas aves você já viu aqui no DF? *



Opção 1



Opção 2



Opção 3



Opção 4



Opção 5

Nenhuma dessas.

4) O que você está vendo na imagem apresentada abaixo? (Foto de Edvaldo Ferreira) *



- Um vespeiro furado.
- Uma casa/ninho de joão-de-barro.
- Uma casa/ninho de andorinha.
- Uma casa/ninho de coruja.
- Não faço ideia.

5) Sem pesquisar, marque abaixo quais dos animais podem servir de alimentação para as aves.

(Pode haver mais de uma alternativa correta.) *

- Escorpiões
- Roedores
- Lagartos
- Peixes
- Serpentes
- Todas as anteriores
- Não sei

6) Das funções ecológicas apresentadas abaixo, quais delas você já ouviu falar que estão diretamente relacionadas às aves? (Pode haver mais de uma alternativa correta.) *

- Disseminação de sementes.
- Polinização.
- Controle do aumento de insetos e outros animais.
- Ciclagem de nutrientes.
- Não sei.

7) As aves que observamos nas cidades estão melhores adaptadas às áreas urbanas (cidades) e não sobrevivem em áreas naturais. Essa informação está certa ou errada? *

- Certa.
- Errada.
- Não sei.

8) Todas as aves que vivem em áreas florestais não conseguem criar adaptações para viver fora dessas áreas. Essa informação está certa ou errada? *

- Certa.
- Errada.
- Não sei.

9) Entre algumas aves é possível diferenciar machos e fêmeas pelas características físicas, como, por exemplo, cor das penas. Essa informação está certa ou errada? *

- Certa.
- Errada.
- Não sei.

10) Mesmo que o desmatamento aumente, as espécies de aves que existem hoje podem continuar existindo pois elas podem sobreviver com o que restar de mata dentro de parques preservados nas cidades. *

- Certo.
- Errado.
- Não sei.

11) O que é verdadeiro afirmar sobre os cantos das aves? (Essa pergunta pode ter mais de uma alternativa correta.) *

- Servem para defesa de território.
- Servem para atrair fêmea para reprodução.
- Servem para avisar para outras da mesma espécie sobre a presença de predadores.
- Servem somente para demonstrar felicidade.
- Não sei.

Das perguntas respondidas sobre comportamento ou ecologia das aves, alguma delas você respondeu com base em conhecimentos adquiridos fora da sala de aula? *

- Não. Aprendi tudo na escola.
- Sim. Aprendi sobre algumas delas fora da escola.