

Estímulos vibracionais e sexuais no cortejo de tangarás: uma nova perspectiva do comportamento reprodutivo em Pipridae (Aves: Passeriformes)

Introdução

Em muitos táxons, sinais multimodais aumentam a eficácia da comunicação sexual, e, muitas vezes, refletem a qualidade do emissor do sinal (Johnstone, 1996; Partan & Marler, 2005; Mitoyen, Quigley & Fusani, 2019). Em aves, os cantos, os movimentos estereotipados e os ornamentos, como a coloração, são bem estudados, entretanto, os componentes vibracionais permanecem negligenciados (Ota & Soma, 2022). As vibrações são amplamente distribuídas no mundo animal, sendo uma ferramenta importante para, por exemplo, a percepção de presas em movimento, de desastres naturais ou de predadores (Hill, 2009; Virant-Doberlet et al. 2019; Sturm et al. 2022). No âmbito reprodutivo, sinais vibracionais são também documentados em invertebrados (Hill, 2009) e em vertebrados (e.g., anfíbios, Forti & Encarnação, 2012; Lacerda et al. 2023). Recentemente, vibrações em substratos também foram descritas em exibições de cortejo em aves Estrildidae (Ota & Soma, 2022).

Sinais multimodais ocorrem em várias espécies da família Pipridae, cujos machos realizam exibições acrobáticas e, em alguns casos, comportamentos cooperativos de cortejo. As exibições combinam componentes acústicos, visuais e motores em um complexo sistema de acasalamento em *lek*, onde somente o macho dominante têm acesso às cópulas (Sick, 1959; Snow, 1963; Foster, 1981; Payne, 1984; McDonald, 1989; Prum, 1998; Ribeiro et al. 2019). Muitas espécies da família realizam sons com as batidas das asas (Prum, 1998) - *Machaeropterus deliciosus* possui penas modificadas que atritam com força acima do dorso e geram um estalo de alta frequência (Bostwick & Prum, 2005) e *Manacus vitellinus* produz “wingsnaps” enquanto realiza acrobacias entre galhos (Chapman, 1935; Bodony et al. 2016). Apesar destas exibições envolverem movimentos repetidos e intensos, nenhum estudo até o momento quantificou e investigou a importância das vibrações geradas nos poleiros ou palcos de exibição durante estas atividades.

Em Pipridae, *Chiroxiphia caudata* apresenta um cortejo caracterizado por um movimento em roda - “cartwheel” - realizado coordenadamente pelo macho dominante e seus subordinados, enquanto emitem vocalizações “wah”, (Foster, 1981; Ribeiro et al., 2019; Schaedler et al., 2019). A dança finaliza com o dominante realizando um voo vertical com rápidas batidas de asas e um chamado estridente de “keekeeke” (Ribeiro et al., 2019; Schaedler et al., 2019). O cortejo é realizado em poleiros cujas características físicas influenciam a frequência de ocorrência de displays e, portanto, devem estar sob seleção pelos machos na escolha do palco de exibição (Ody & Manica, dados não publicados 2023). Ribeiro et al. (2019) encontraram diferenças entre cortes na altura dos voos verticais e na velocidade dos movimentos em roda dos machos, levando a considerar que saltos mais altos e movimentos em roda mais rápidos podem gerar vibrações mais intensas no poleiro. Contudo, a hipótese de que esses movimentos geram vibrações no substrato – potencialmente perceptíveis por fêmeas próximas – ainda não foi testada, limitando nossa compreensão da evolução da sinalização multimodal neste grupo.

O presente estudo investigará pioneiramente a produção e função de estímulos vibracionais no cortejo de *C. caudata*, combinando gravações de vídeo e registros por sensores de vibração (acelerômetros) no poleiro. Iremos testar se as vibrações geradas durante o cortejo cooperativo de *C. caudata* funcionam como sinais comunicativos e se sofrem influência da seleção sexual, constituindo um componente dos displays multimodais. Inicialmente, faremos uma descrição das vibrações, identificando variações em intensidade/amplitude, frequência e duração em função do (1) número de machos participando da atividade, (2) características morfométricas dos machos, (3) status social dos machos, (4) altura do voo vertical dos machos, (5) velocidade do *cartwheel*, (6) características físicas do poleiro (altura, comprimento, ângulo, espessura e deformação), e entre (7) a identidade da cortes (i.e. grupos de machos que se exibem em conjunto). Se as vibrações são sinais comunicativos, esperamos encontrar diferenças em seus parâmetros (intensidade/amplitude, frequência e duração) entre (8) os contextos sociais (display de cortejo, treino - realizado na ausência da fêmea - e interações casuais). Por fim, testaremos a hipótese de que os sinais multimodais, que incluem as vibrações, a vocalização e a coloração da plumagem dos machos, modulam as respostas comportamentais das fêmeas e, portanto, estão sob seleção sexual. Para isso, relacionaremos os mesmos parâmetros das vibrações citados acima, parâmetros acústicos e da reflectância das penas com respostas das fêmeas durante o display: (i) aproximação/afastamento do poleiro (distância e tempo de permanência) e (ii) posturas e movimentos corporais específicos (ex: *bow*, *bill wipe* e vibração de asas) e com (iii) a ocorrência de cópulas

Materiais e Métodos

Realizaremos a pesquisa no Parque Estadual Pico do Marumbi - Mananciais da Serra (Latitude: -25.4924806° Sul, Longitude: -48.9942823° Oeste), situado no município de Piraquara, PR. O local contempla um dos últimos remanescentes de floresta Atlântica preservada da região, formada por transições de Floresta Ombrófila Densa Montana com Floresta Ombrófila Mista (Reginato & Goldenberg, 2007). As expedições de campo terão início junto ao começo da estação reprodutiva da espécie (setembro - março) de 2025 a 2027. Realizaremos busca ativa das cortes e seus poleiros de exibição, que serão georreferenciados e medidos quanto à (1) altura e comprimento, com auxílio de trena, (2 e 3) angulação e deformação, com auxílio de equipamento adaptado e transferidor seguindo Ody e Manica (dados não publicados, 2023). Para medir a deformação calcularemos a diferença na angulação entre o poleiro com um peso de 25g (peso médio de um indivíduo de *C. caudata*) pendurado no galho e sem esse peso. Mediremos a (4) espessura calculando a média entre as espessuras da base do galho, do meio e da ponta, com auxílio de paquímetro seguindo Ody e Manica (dados não publicados, 2023).

A fim de posterior identificação dos indivíduos, iremos capturá-los, utilizando redes de neblina de 12 m de comprimento × 2,6 m de altura e malha de 16 mm, seguindo as recomendações do Manual de Anilhamento do CEMAVE (IBAMA, 1994). Serão instaladas 5 redes no entorno de cada uma das cortes, distantes a, pelo menos, 15m dos poleiros de exibição previamente mapeados. As redes serão abertas ao amanhecer (5h–11h) e no final da

tarde (15h–18h), com monitoramento a cada 15 minutos para evitar estresse prolongado das aves. As redes só serão abertas caso as condições meteorológicas sejam adequadas, isto é, sem ocorrência de chuva intensa, vento forte ou calor/frio intensos. Os indivíduos capturados serão manuseados conforme o código de conduta do CEMAVE (IBAMA, 1994). A contenção será feita com segurança (segurando a cabeça entre os dedos indicador e médio, e as pernas com o polegar e o anelar). Os indivíduos serão marcados com uma anilha metálica do CEMAVE que utiliza código alfanumérico e com anilhas coloridas com combinações únicas de cores para identificação individual nas filmagens. Adicionalmente, serão registrados dados morfométricos (comprimento total do corpo, comprimento da asa, comprimento do tarso, comprimento, altura e largura do bico e peso) e biológicos (idade, sexo, estágio reprodutivo) com auxílio de paquímetro, balança digital e teste de sexagem para as fêmeas. Todas as aves serão liberadas no local de captura em até 15 minutos após a coleta de dados.

Para registro das exhibições, utilizaremos câmeras filmadoras posicionadas a 5m de distância de cada poleiro de exibição, e iremos filmar as atividades das 06h às 12h da manhã, período de pico de atividade dos tangarás, e, pelo menos, três vezes por semana.

Método sinais vibracionais

Iremos fixar sensores de vibração de alta sensibilidade, confeccionados em parceria com Engenheiros Elétricos da UFPR, na base de cada um dos poleiros com auxílio de agarradeiras ou fita isolante. Estes equipamentos serão ligados simultaneamente com as câmeras filmadoras. Realizaremos testes de calibração com excitações mecânicas padronizadas para validar a resposta do sensor, e iremos instalar os sensores em poleiros sem atividade, gravados como controle de ruído ambiental (ex: vento e chuva). Os arquivos gerados serão analisados de forma conjunta, a fim de delimitar os horários com atividades nos poleiros, usando picos de vibração associados a movimentos visíveis (ex.: movimento em roda do display). A análise dos vídeos será realizada no software BORIS, com marcação de eventos comportamentais dos machos e das fêmeas seguindo Ribeiro et al. (2019) - *cartwheel*, vocalização de “*keekeeeke*”, “*tucked wing-flick*”, “*bow*”, “*bill wipe*”, vibração da cauda, “*back-and-forth*”, “*loop*” e outros movimentos estereotipados, assim como atividades casuais (ex: saltos, batidas de asas e interações casuais) sincronizados aos registros dos sensores de vibração. Os dados vibracionais serão processados em programa específico (a definir), extraindo os parâmetros de amplitude, frequência dominante e duração para cada evento.

Método análise acústica

A partir das filmagens, extrairemos o áudio das exhibições com o software Audacity. Com o Raven Pro iremos obter as variáveis acústicas de frequência mínima (obtida subtraindo 24 dB da amplitude de pico no espectro de potência para excluir o ruído de fundo), frequência máxima, frequência delta (diferença entre a frequência máxima e a frequência mínima), frequência central (frequência que divide a seleção em dois intervalos de energia igual) e frequência de pico (caracterizada pela frequência da nota com maior energia), seguindo Schaedler et al. (2021).

Método coloração da plumagem

Coletaremos de 4 a 5 penas de quatro áreas do corpo (coroa, pescoço, ventre e dorso) de cada macho adulto capturado. As penas serão separadas de acordo com a identificação dos indivíduos (anilhas CEMAVE e coloridas) e utilizadas para medir a reflectância através de equipamento espectrofotômetro. Serão medidas as variáveis de brilho, matiz UV e saturação, seguindo Schaedler et al. (2021) e Fernandes e Manica (dados ainda não publicados, 2024).

Análises estatísticas

Testaremos se os parâmetros dos sinais vibracionais (intensidade/amplitude, frequência e duração) variam em função das variáveis preditoras 1-8 (ver Introdução) utilizando um modelo misto linear generalizado (GLMM), com distribuição adequada ao tipo de dado (a princípio, distribuição normal). Em outro GLMM testaremos a relação entre os parâmetros das vibrações, vocalização e coloração da plumagem e as variáveis de resposta comportamental das fêmeas i, ii e iii (ver Introdução). A identidade das cortes serão utilizadas como efeitos aleatórios que serão incluídos para controlar variações individuais e temporais. A seleção final dos modelos considerará a adequação aos pressupostos estatísticos e a qualidade do ajuste, com análises realizadas no ambiente R.

Resultados esperados

Se comprovada a função comunicativa, este será o primeiro registro de sinais vibracionais como componente selecionado em píprídeos, ampliando o entendimento da complexidade de sinais em aves. Espera-se que as vibrações nos poleiros de exibição de *C. caudata*: (i) apresentem padrões não aleatórios, com maior intensidade durante cortejos e sincronia com movimentos específicos; (ii) variem conforme status social, desempenho motor e morfologia dos machos; (iii) sejam amplificadas em poleiros estruturalmente selecionados; e (iv) modulem o tempo de permanência e escolha das fêmeas. A confirmação desses padrões sustentará a hipótese de que as vibrações são sinais comunicativos sob seleção sexual. Esses resultados permitirão avançar o conhecimento sobre a comunicação multimodal em aves, especialmente sobre o papel dos estímulos vibracionais no comportamento reprodutivo, e poderão abrir novas perspectivas para estudos futuros nas áreas de zoologia, ecologia comportamental e evolução dos sinais em aves.

Esperamos que os sinais acústicos das vocalizações emitidas durante as exibições, difiram entre os contextos de display e treino, demonstrando frequências maiores na presença das fêmeas e menor variabilidade. Estes resultados poderão refinar o que se sabe a respeito do papel acústico em exibições multimodais. Assim como, esperamos que a coloração seja um fator importante e decisivo para a escolha das fêmeas. Destacando machos com maiores reflectâncias (mais brilhante, com mais matiz UV e mais saturação das penas) em exibições multimodais. Estes resultados poderão fornecer melhores *insights* sobre como as informações motoras, visuais, acústicas e vibracionais se complementam no sistema reprodutivo de píprídeos e demais aves que realizam cortejos complexos.

Cronograma

Atividades	set 25	out 25	nov 25	dez 25	jan 26	fev 26	mar 26	abr 26	mai 26	jun 26	jul 26	ago 26	set 26	out 26	nov 26	dez 26	jan 27	fev 27	mar 27
Captura, anilhamento e medidas morfométricas	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X			
Busca ativa por novas cortes e poleiros de exibição	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X			
Medição dos parâmetros físicos dos poleiros	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X			
Filmagem associada aos sensores de vibração	X	X	X	X	X	X							X	X	X	X			
Triagem e análise dos dados								X	X	X	X						X	X	X
Escrita do trabalho								X	X	X	X						X	X	X

Recursos financeiros

O trabalho exigirá a construção de equipamentos sensíveis à vibração gerada pela dança dos tangarás, com um investimento inicial de R\$300,00. Também iremos adquirir uma câmera gravadora no valor de até R\$7.899,99. As idas para campo ocorrerão por, no mínimo, três dias e no máximo cinco dias a cada semana, durante os períodos de captura, busca ativa e filmagem. O trabalho contará com no mínimo duas pessoas, a responsável pelo projeto e um(a) auxiliar, eventualmente dois auxiliares. Desta maneira, considerando o número mínimo e máximo de dias em campo, e três refeições por dia (café, almoço e janta) os gastos com alimentação poderão variar de R\$150,00 a R\$200,00. Considerando um gasto médio de R\$175,00 a cada semana ao longo de dez meses, o total com alimentação será de aproximadamente R\$7.603,75. Também consideramos os possíveis gastos com transporte e gasolina quando não houver serviço de transporte de alunos disponível pela universidade (CENTRAN - UFPR). O trajeto da UFPR ao Mananciais da Serra - Piraquara, PR, é de aproximadamente 70 km (total de ida e volta), ao longo de dez meses, estima-se um total de 43 viagens no período. Considerando que metade das viagens (22) sejam por nossa conta, com um veículo que apresenta consumo médio de 9 km/L e o preço atual da gasolina em aproximadamente R\$ 6,50/L, o custo aproximado com combustível será de R\$1.112,22.

Integramos um valor de R\$2000,00 para demais possíveis investimentos com materiais de campo. O investimento para este projeto será de aproximadamente R\$18.915,21.

Referências

BODONY, D. J.; DAY, L.; FRISCIA, A. R.; et al. Determination of the wingsnap sonation mechanism of the Golden-collared manakin (*Manacus vitellinus*). **Journal of Experimental Biology**, p. jeb.128231, 2016. Disponível em: <<https://journals.biologists.com/jeb/article/doi/10.1242/jeb.128231/262149/Determination-of-the-wingsnap-sonation-mechanism>>. Acesso em: 2/4/2025.

BOSTWICK, K. S.; PRUM, R. O. Courting Bird Sings with Stridulating Wing Feathers. **Science**, v. 309, n. 5735, p. 736–736, 2005. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.1111701>>. Acesso em: 31/3/2025.

CHAPMAN, Frank Michler et al. The courtship of Gould's manakin (*Manacus vitellinus vitellinus*) on Barro Colorado Island, Canal Zone. **Bulletin of the AMNH**; v. 68, article 7. 1935.

FORTI, L.; ENCARNAÇÃO, L. Water-wave production in the Neotropical frogs *Physalaemus albonotatus* and *Pseudopaludicola mystacalis*: a seismic signal. **Salamandra**, v. 48, n. 3, p. 181-184, 2012.

FOSTER, Mercedes S. Cooperative behavior and social organization of the Swallow-tailed Manakin (*Chiroxiphia caudata*). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 9, n. 3, p. 167-177, 1981.

HILL, P. S. M. How do animals use substrate-borne vibrations as an information source? **Naturwissenschaften**, v. 96, n. 12, p. 1355–1371, 2009. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00114-009-0588-8>>. Acesso em: 31/3/2025.

JOHNSTONE, Rufus A. Multiple displays in animal communication: ‘backup signals’ and ‘multiple messages’. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences**, v. 351, n. 1337, p. 329-338, 1996. Disponível em: <<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.1996.0026>>. Acesso em: 20/5/2025.

LACERDA, Joao Victor A. et al. Plant-borne vibration is related to the vocal repertoire of an Atlantic Forest marsupial frog: vocalization of *Fritziana tonimi* (Anura: Hemiphraetidae). **Salamandra**, v. 59, n. 3, 2023.

MCDONALD, D. B. Correlates of male mating success in a lekking bird with male-male cooperation. **Animal Behaviour**, v. 37, p. 1007–1022, 1989.

MITOYEN, C.; QUIGLEY, C.; FUSANI, L. Evolution and function of multimodal courtship displays. (R. Bshary, Org.) **Ethology**, v. 125, n. 8, p. 503–515, 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eth.12882>>. Acesso em: 21/5/2025.

ODY, Helena N.; MANICA, Lilian T. *Palco, dueto e coro: os parâmetros que viabilizam o cortejo dos tangarás (Chiroxiphia caudata)*. **Monografia** (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. 30 p.

OTA, N.; SOMA, M. Vibrational Signals in Multimodal Courtship Displays of Birds. In: P. S. M. Hill; V. Mazzoni; N. Stritih-Peljhan; M. Virant-Doberlet; A. Wessel (Orgs.); 29 **Biotremology: Physiology, Ecology, and Evolution**, Animal Signals and Communication. p.237–259, 2022. Cham: Springer International Publishing.

PARTAN, S. R.; MARLER, P. Issues in the Classification of Multimodal Communication Signals. **The American Naturalist**, v. 166, n. 2, p. 231–245, 2005. Disponível em: <<https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1086/431246>>. Acesso em: 31/3/2025.

PAYNE, Robert B. Sexual selection, lek and arena behavior, and sexual size dimorphism in birds. **Ornithological monographs**, n. 33, p. iii-52, 1984.

PRUM, R. O. Sexual selection and the evolution of mechanical sound production in manakins (Aves: Pipridae). **Animal Behaviour**, v. 55, n. 4, p. 977–994, 1998. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003347297906473>>. Acesso em: 2/4/2025.

RIBEIRO, Pedro HL et al. Variation within and between courts in visual components of Swallow-tailed Manakin (*Chiroxiphia caudata*) display. **Journal of Ornithology**, v. 160, n. 2, p. 485-496, 2019.

SCHAEDLER, Laura M. et al. Acoustic signals and repertoire complexity in Swallow-tailed Manakins (*Chiroxiphia caudata*, Aves: Pipridae). **Bioacoustics**, v. 29, n. 2, p. 182-196, 2020.

SCHAEDLER, L. M.; RIBEIRO, P. H. L.; MANICA, L. T. Phenotype networks reveal differences between practice and courtship displays in swallow-tailed manakins. **Animal Behaviour**, v. 171, p. 29–39, 2021.

SICK, Helmut. Die Balz der Schmuckvögel (Pipridae). **Journal für Ornithologie**, v. 100, p. 269-302, 1959.

SNOW, D. W. The evolution of manakin displays. Proc. 13th Int. **Ornithol. Congr.**, Pp. 553-561. 1963.

ŠTURM, R.; LÓPEZ DÍEZ, J. J.; POLAJNAR, J.; SUEUR, J.; VIRANT-DOBERLET, M. Is It Time for Ecotremology? **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, p. 828503, 2022. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2022.828503/full>>. Acesso em: 2/4/2025.

VIRANT-DOBERLET, M.; KUHELJ, A.; POLAJNAR, J.; ŠTURM, R. Predator-Prey Interactions and Eavesdropping in Vibrational Communication Networks. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 7, p. 203, 2019. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fevo.2019.00203/full>>. Acesso em: 2/4/2025.