



SINALIZADOR SONORO INTELIGENTE: ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DE COLISÃO E ELETROCUSSÃO DE AVES EM REDES ELÉTRICAS DE DISTRIBUIÇÃO ¹

**Leonardo Luan Moreira Serpa Sá², Moisés Machado Santos³, Bruno Muraro Perondi⁴,
Monisa Mori Mazzurana⁵, Nathaly Priscila Müller⁶, Pedro Mateus Steiernagel⁷**

¹ Proposta de dissertação de mestrado no Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Matemática Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

² Aluno do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul;

³ Professor da graduação e do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Matemática Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

⁴ Aluno do Programa de Pós Graduação de Mestrado em Modelagem Computacional na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul;

⁵ Aluna do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul;

⁶ Aluna do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul;

⁷ Aluno do curso de Engenharia Elétrica na Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul;

RESUMO

As interações entre a avifauna e as infraestruturas dos Sistemas de Energia Elétrica (SEE) geram uma série de impactos negativos, incluindo alterações comportamentais e fisiológicas. No entanto, a mortalidade por colisão ou eletrocussão emerge como uma das principais ameaças, com consequências significativas para a conservação da avifauna, como a perda de indivíduos reprodutivos e a fragmentação de habitats. Neste contexto, este estudo apresenta resultados preliminares do desenvolvimento de um sistema de sinalização sonora inteligente, concebido para prevenir colisões e eletrocussões de aves em redes elétricas de distribuição. Os resultados preliminares são encorajadores e sugerem que o protótipo desenvolvido é eficaz na indução de comportamentos de evitação nas aves, abrindo assim caminhos para futuras pesquisas e aplicações de campo.

Palavras-chave: Avifauna. Mortalidade. Sistemas de Energia Elétrica. Sinalizador Sonoro.

ABSTRACT

Interactions between avian fauna and electrical power system infrastructures result in a series of negative impacts, including behavioral and physiological alterations in birds. Among these impacts, mortality due to collisions or electrocution stands out as one of the main threats, with significant consequences for avian conservation, such as the loss of reproductive individuals and habitat fragmentation. In this context, this study presents preliminary results of the development of an intelligent sound signaling system, designed to prevent bird collisions and electrocutions in distribution electrical networks. The preliminary results are encouraging and suggest that the developed prototype is effective in inducing avoidance behavior in birds, thus opening up avenues for further research and field applications.

Keywords: Avian fauna. Mortality. Electrical power systems. Acoustic signaling.



1. INTRODUÇÃO

As interações entre avifauna e infraestruturas dos Sistemas de Energia Elétrica (SEE) resultam em uma coexistência frequentemente conflituosa. A literatura científica reporta uma série de impactos negativos sobre as aves, tais como alterações comportamentais e fisiológicas (Biasotto et al., 2021). No entanto, a mortalidade por colisão ou eletrocussão representa uma das principais ameaças, com implicações substanciais para a conservação da avifauna, como a perda de indivíduos reprodutivos e a fragmentação de habitats (Galmes et al., 2017).

A preocupação com as interações entre avifauna e infraestruturas de sistemas elétricos remonta ao século passado (Michener, 1928). No entanto, a partir da década de 1980, observou-se um aumento substancial no número de publicações científicas dedicadas a esse tema, especialmente na América do Norte e Europa (Bevanger, 1998; Hernández Matías et al., 2015). Na América do Sul, a intensificação desses estudos é mais recente. Uma pesquisa abrangente e atual sobre colisões e eletrocussões de aves na América do Sul proposta por Galmes et al., (2017) compilou dados provenientes de diversas fontes, incluindo companhias de energia elétrica, artigos científicos, reportagens jornalísticas, monitoramento de campo e projetos de pesquisa. Os resultados indicam que 34 famílias de aves foram afetadas por linhas de energia em 85 países sul-americanos entre 2009 e 2021. O mesmo estudo revelou um total de 19.335 interrupções no fornecimento de energia elétrica causadas por colisões e eletrocussões de aves em estruturas de sistemas elétricos no Peru, Chile e Argentina. Desses eventos, 93 (0,5%) ocorreram em linhas de transmissão, enquanto 19.242 (99,5%) foram registrados em redes de distribuição. Esses dados evidenciam que as estruturas dos sistemas de distribuição de energia elétrica representam o principal fator de risco para a mortalidade de aves.

O Brasil tem avançado na discussão sobre políticas públicas para a proteção da fauna. O projeto de Lei nº 564/2023, atualmente em tramitação, representa um importante passo nesse sentido, propondo a modernização das estruturas de redes elétricas com o objetivo de prevenir acidentes com animais silvestres (Brasil, 2023). A implementação dessa legislação pode contribuir significativamente para a conservação da biodiversidade e para a garantia da segurança energética do país. Neste contexto, visando a aplicação de soluções tecnológicas inovadoras na conservação da avifauna, este estudo apresenta os resultados



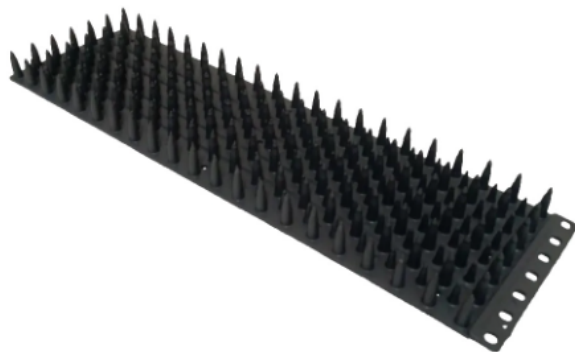
preliminares do desenvolvimento de um sistema de sinalização sonora inteligente. Tal sistema tem como objetivo principal a prevenção de colisões e eletrocussões de aves em redes elétricas de distribuição, contribuindo significativamente para a mitigação dos impactos negativos dessas infraestruturas sobre a biodiversidade. O objetivo do trabalho alinha-se diretamente com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) de números 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e 15 (Vida sobre a Terra).

Este estudo está estruturado em cinco seções. A Seção 2 apresenta o embasamento teórico que fundamenta a proposta, delineando os principais conceitos e modelos utilizados. A Seção 3 detalha a metodologia empregada na pesquisa, descrevendo os procedimentos adotados. A Seção 4 apresenta o desenvolvimento do protótipo do sistema de sinalização sonora inteligente, detalhando suas etapas e características iniciais. Por fim, a Seção 5 apresenta e discute os resultados preliminares, analisando a eficácia do protótipo e propondo direções futuras desta pesquisa.

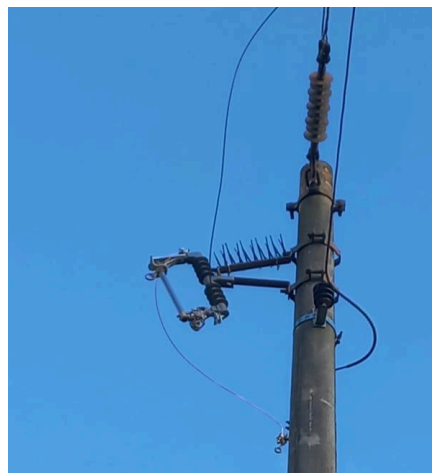
2. ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DE COLISÕES E ELETROCUSSÕES DE AVES

Dentre as estratégias de mitigação de colisões e eletrocussões de aves em redes elétricas de distribuição e transmissão, destacam-se a instalação de telas protetoras, a remoção de vegetação, a implantação de sinalizadores visuais e sonoros, e o uso de inibidores de nidificação. No entanto, a eficácia dessas medidas ainda é objeto de debate na literatura especializada.

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) é uma das principais concessionárias de energia elétrica do Brasil que tem se destacado em ações de mitigação de colisões e eletrocussões de aves em redes elétricas de distribuição e transmissão. A empresa emprega diversas medidas preventivas, como a instalação de inibidores de pássaros, de telas, a remoção de vegetação, a marcação de cabos e estruturas, a utilização de materiais isolantes e a implementação de programas de educação ambiental (Costa et al., 2008). Inibidores de pássaros, como os ilustrados na Figura 1, são comumente utilizados para evitar a nidificação em transformadores.



a)



b)

Figura 1 - a) Inibidor de pássaros comercializado. **Fonte:** Tecnobird (2024). b) Inibidor de pássaros instalado no suporte que deriva para uma chave fusível. **Fonte:** Autores (2024).

Embora os inibidores de nidificação evitem a construção de ninhos, sua eficácia é limitada devido à fixação inadequada e à impossibilidade de instalação em todos os equipamentos. Além disso, esses dispositivos não são eficazes na prevenção de colisões de aves com as estruturas da rede elétrica. Outra alternativa são os sinalizadores visuais, contudo a literatura apresenta resultados conflitantes quanto à sua eficácia na prevenção de colisões com linhas de transmissão (Biasotto et al., 2016). Uma alternativa adicional consiste na substituição de condutores nus por condutores isolados. No entanto, essa medida apresenta custos elevados e demanda modificações em larga escala na infraestrutura da rede elétrica.

Diante das limitações das estratégias atuais de mitigação de colisões e eletrocussões de aves, a utilização do sinalizador sonoro em diferentes frequências surge como uma promissora alternativa para a redução de colisões e eletrocussões de aves em linhas de transmissão. A acurada audição das aves sugere que a emissão de sons específicos pode ser eficaz na dissuasão desses animais (Pough et al., 2008). Essa abordagem fundamenta-se na premissa de que diferentes frequências sonoras podem provocar respostas comportamentais distintas nas aves, como a evitação de determinadas áreas. No entanto, a eficácia dessa estratégia depende de diversos fatores, tais como a intensidade sonora, a frequência utilizada e a espécie aviária. Investigar a influência desses fatores na eficácia da repulsão sonora de aves caracteriza um dos desafios dessa pesquisa.



3. METODOLOGIA

As etapas da metodologia proposta neste estudo são sintetizadas na Figura 2.



Figura 2 – Etapas da metodologia: etapas. **Fonte:** Autores (2024).

A etapa de pesquisa e análise envolverá uma revisão exaustiva da literatura sobre estratégias de mitigação de colisões e eletrocussões de aves, com foco em estudos de caso e melhores práticas. Paralelamente, será realizado um levantamento detalhado da avifauna local, considerando a diversidade de espécies, hábitos e rotas migratórias. Os dados obtidos nessas etapas servirão como base para o desenvolvimento de um protótipo de sinalizador sonoro inteligente, customizado para as características específicas da região.

O protótipo será submetido a testes de campo em uma área de distribuição de energia elétrica do município de Ijuí, selecionada em conjunto com a concessionária local. Durante os testes, a eficácia do sinalizador em repelir aves será avaliada por meio de métodos quantitativos, permitindo a comparação estatística dos resultados. A fim de validar a eficácia da tecnologia desenvolvida, os dados coletados serão minuciosamente analisados e utilizados para aprimorar o protótipo.

Os resultados da pesquisa serão documentados e submetidos para publicação em periódicos científicos de renome. Além disso, está prevista a solicitação de registro de patente



para proteger a propriedade intelectual e estimular a transferência de tecnologia para o setor elétrico.

4. DESENVOLVIMENTOS E TESTES PRELIMINARES

Nesta seção, são apresentados os primeiros detalhes da montagem do protótipo e os resultados dos testes iniciais.

4.1. Desenvolvimentos

A presente pesquisa encontra-se na fase de desenvolvimento do protótipo inicial do sinalizador sonoro inteligente. A montagem inicial foi realizada em uma protoboard, utilizando um microcontrolador Arduino UNO e um módulo Bluetooth HC-05 para controle remoto. O emprego destes elementos ocorreu para que as aves no experimento não agitassem e dispersassem durante o acionamento do circuito na alimentação manual.

Um circuito integrado 555, configurado em modo astável, gerou pulsos elétricos que, após amplificação, acionam um alto-falante. A frequência de operação, determinada experimentalmente, foi fixada em 4,22 kHz. Análises osciloscópicas (Figura 3) revelaram a presença de ruídos, os quais foram atenuados por meio de um capacitor de desacoplamento.

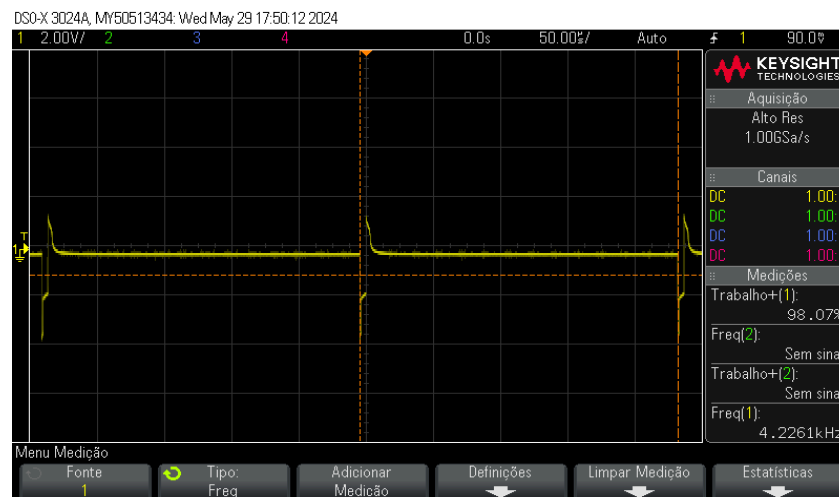
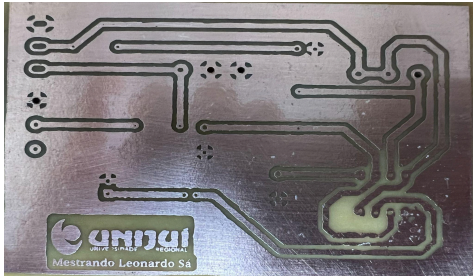
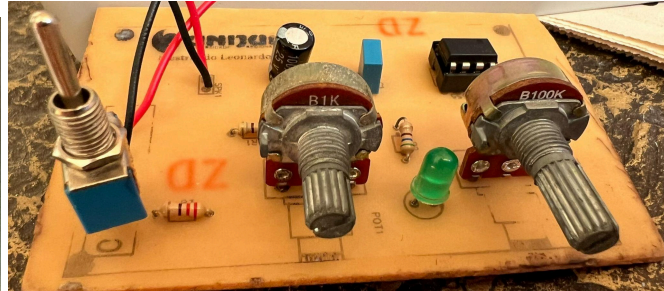


Figura 3 - Forma de onda na saída do sinal para o alto falante na frequência de 4,22 kHz. **Fonte:** Autores (2024).

Visando otimizar o desempenho e a confiabilidade do dispositivo, o protótipo foi transferido para uma placa de circuito impresso (PCI) customizada, detalhada na Figura 4.



(a)



(b)

Figura 4 – (a) PCI após a corrosão do cobre; (b) Componentes soldados. **Fonte:** Autores (2024).

A escolha pela PCI se justifica pela necessidade de minimizar interferências eletromagnéticas e garantir a estabilidade das conexões. A placa incorpora componentes eletrônicos de alta qualidade, como capacitores de poliéster e eletrolíticos, além de um circuito divisor de tensão para ajuste do volume do alto-falante. Uma chave seletora foi incluída para permitir o acionamento e desligamento do dispositivo. O projeto da PCI foi realizado utilizando o software EasyEDA, demonstrado na Figura 5, o layout da PCI obtido, e a fabricação foi realizada no laboratório do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC).

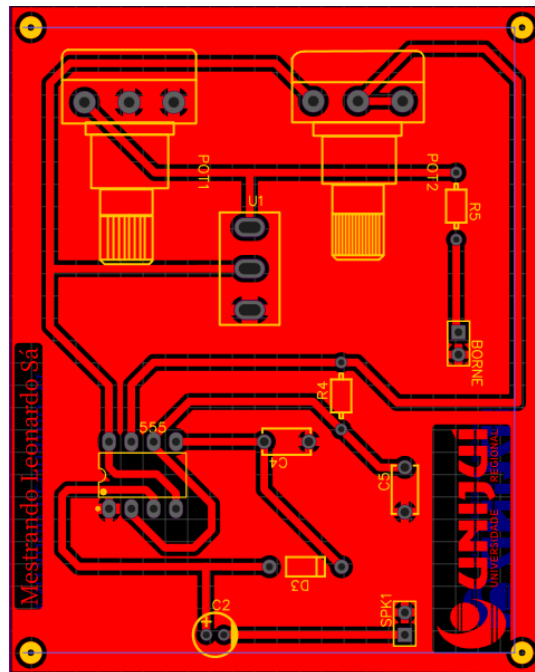


Figura 5 – Layout da PCI obtido via software EasyEDA. **Fonte:** Autores (2024).



4.2. Testes preliminares

Os testes preliminares foram conduzidos com a espécie *Melopsittacus Undulatus*, comumente conhecida como periquito australiano (Figura 6).



Figura 6 - Dispositivo ultrassônico em protoboard arranjado em frente da gaiola. **Fonte:** Autores (2024).

Os testes, com duração de 4 horas e 30 minutos, demonstraram uma clara resposta das aves ao estímulo sonoro. Imediatamente após a liberação das gaiolas, os animais demonstraram um comportamento de evitação, afastando-se do alto-falante e negligenciando os recipientes de alimento e água. Após a desativação do dispositivo por 30 minutos, as aves retornaram aos seus hábitos alimentares. No entanto, ao religar o sinalizador, as aves reiniciaram o comportamento de evitação, permanecendo afastadas dos recipientes e da gaiola por todo o restante do experimento. Durante a noite, observou-se que as aves, normalmente habituadas a retornar às gaiolas, permaneceram nas proximidades do alto-falante, demonstrando sinais de estresse e desconforto, como agitação e resistência ao manuseio.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

O presente estudo teve como objetivo principal desenvolver e avaliar a eficácia de um sinalizador sonoro inteligente na mitigação de colisões e eletrocussões de aves em infraestruturas elétricas. Os resultados preliminares, obtidos em ambiente controlado com a espécie *Melopsittacus Undulatus*, demonstraram a viabilidade da repulsão sonora como método de controle. Em conclusão, os dados coletados indicam que o protótipo desenvolvido é capaz de induzir um comportamento de evitação nas aves testadas, sugerindo um grande



GALMES, M.A., SARASOLA, J.H., GRANDE, J.M., VARGAS, F.H., 2017. **Electrocution risk for the endangered Crowned Solitary Eagle and other birds in semiarid landscapes of central Argentina.** *Bird Conserv. Int.* 28, 403–415. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0959270917000272>

HERNÁNDEZ-MATÍAS, A.; REAL, J.; PARES, F. & PRADEL, R. 2015. **Electrocution threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe.** *Biological Conservation*, 191: 110- 116. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.028>

MICHENER, Harold. **Where engineer and ornithologist meet: transmission line troubles caused by birds.** *The Condor*, v. 30, n. 3, p. 169-175, 1928. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/1363273>.

NATALIA Rebolo-Ifrán, PABLO Plaza, JUAN Manuel Pérez-García, VÍCTOR Gamarra-Toledo, FRANCISCO Santander, SERGIO A. LAMBERTUCCI, **Power lines and birds: An overlooked threat in South America, Perspectives in Ecology and Conservation**, Volume 21, Issue 1, 2023, Pages 71-84, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2022.10.005>.

POUGH, F. H. et al. **A vida dos vertebrados.** São Paulo: Atheneu, 2008.