

Comportamento de voo de aves em resposta ao uso de sinalizadores em linhas de transmissão de energia elétrica

Larissa D. Biasotto¹, André Barcelos-Silveira¹, Carlos Eduardo Q. Agne^{2,3} & Andreas Kindel¹

1. Programa de Pós-graduação em Ecologia, Departamento de Ecologia, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Av. Bento Gonçalves 9500, Prédio 43422, 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil. (larissabiasotto@hotmail.com)
2. Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos – CBRO.
3. Centro de Ensino Superior Riograndense – CESURG, Sarandi, RS, Brasil.

Received 21 November 2016

Accepted 16 November 2017

10.1590/1678-4766e2017047

ABSTRACT. Bird flight behavior in response to marked wire use in power transmission lines. As a result of the expansion of the energy sector and the subsequent installation of new power transmission lines (LTs), birds are increasingly exposed to the risk of direct mortality due to collision with these structures. In order to minimize collisions, bird flight diverters are fixed in the static wire. We tested, with an indirect measure, the effectiveness of this device by means of observations of the alteration of the flight behavior in distinct bird families. We considered two risk variables - position of the line transposition flight and flight distance in relation to the cables - observed on mitigated and unmitigated spans of a LT located on the north coast of Rio Grande do Sul, Brazil. We used chi-square test ($\alpha = 0.05$) for the two risk variables and for each family separately to test for differences in behavior responses to flight diverters. Out of 13 families, only Hirundinidae showed risk avoidance flight behavior on mitigated lines. Despite the wire marking be indicated as the most appropriate measure to mitigate these fatalities, our behavioral study do not supported this claim, at the family level. However, before their abandonment we discuss the need of a meta-analysis of their effectiveness on Brazilian TLs as well improvements needed in monitoring study designs.

KEYWORDS. High voltage lines, Hirundinidae, mitigation, collision risk.

RESUMO. Como consequência da ampliação do setor energético e da instalação de novas linhas de transmissão de energia (LTs), as aves estão expostas a um risco crescente de mortalidade direta em virtude da colisão com essas estruturas. Com o propósito de minimizar as colisões, sinalizadores de avifauna são instalados nos cabos para-raios das LTs. Buscamos testar a eficiência dos sinalizadores por meio de observações da alteração no comportamento de voo de aves avaliado em nível de famílias taxonômicas. Consideramos duas variáveis de exposição ao risco de colisão - posição do voo de transposição da linha e distância perpendicular em relação aos cabos - observadas em vôos sinalizados e não sinalizados de uma LT localizada no litoral norte do Rio Grande do Sul - Brasil. Realizamos o teste Qui-Quadrado ($\alpha = 0,05$) para as duas variáveis de risco e para cada família em separado. Das famílias analisadas ($n = 13$), somente uma (Hirundinidae) apresentou alteração do comportamento de voo na presença dos sinalizadores. Apesar da sinalização dos cabos ser indicada como a medida mais apropriada para a mitigação dessas fatalidades, nossos resultados não revelaram isso quando avaliados em nível de família. No entanto, antes de abandonar essa estratégia de mitigação, nós discutimos a necessidade da aplicação de meta-análises para verificar a efetividade desses dispositivos nas LTs instaladas no Brasil, assim como a necessidade de aperfeiçoamento nos desenhos amostrais dos estudos de monitoramentos dessas infraestruturas.

PALAVRAS-CHAVE. Linhas de alta tensão, Hirundinidae, mitigação, risco de colisão.

O crescimento contínuo no setor energético requer modificações na paisagem que incluem a instalação de novas linhas de transmissão (LTs) e distribuição de energia. Segundo JENKINS *et al.* (2010), o número de linhas de energia elétrica no mundo aumenta a uma taxa de 5% a cada ano. Essas linhas acabam por formar redes extensas que atravessam diferentes habitat, entre eles alguns de extrema relevância para a avifauna, como corredores ou rotas de voo regulares entre áreas de alimentação e dormitório, caracterizados por grande tráfego de aves (SCOTT *et al.*, 1972; CRIVELLI *et al.*, 1988).

Além de sofrerem com a perda e fragmentação de seus habitat (WALKER *et al.*, 2007; DUNKIN *et al.*, 2009; HOVICK *et al.*, 2015), as aves também estão expostas a riscos

de morte por eletrocussão ou por colisão com as estruturas desses empreendimentos (DREWITT & LANGSTON, 2008; SHAW *et al.*, 2010; LOSS *et al.*, 2014). Linhas de transmissão são uma das principais causas de mortalidade de aves por colisão com obstáculos artificiais (ERICKSON *et al.*, 2005; DREWITT & LANGSTON, 2008; LOSS *et al.*, 2015), constituindo um problema de conservação principalmente para pequenas populações (BEVANGER, 1998; MARTÍNEZ *et al.*, 2016).

Embora a preocupação com interações entre aves e LTs date desde o século passado (MICHENER, 1928), o número de publicações tem aumentado principalmente nas últimas quatro décadas, abrangendo diferentes países na Europa (SCOTT *et al.*, 1972; ALONSO *et al.*, 1994; JANSS & FERRER, 1998; JANSS, 2000; BEVANGER & BROSETH, 2001; RUBOLINI

et al., 2005; BARRIENTOS *et al.*, 2012; MARTÍNEZ *et al.*, 2016), África (SHAW *et al.*, 2010; JENKINS *et al.*, 2010; KRÜGER *et al.*, 2015), América do Norte (BROWN & DREWEN, 1995; SAVERENO *et al.*, 1996; RIOUX *et al.*, 2013; SPORER *et al.*, 2013) e América do Sul (DE LA ZERDA & ROSSELLI, 2003; RAPOSO, 2013). No Brasil, trabalhos sobre colisão de aves com estruturas de LTs ainda são escassos e limitados a estudos de licenciamento de impacto ambiental (RAPOSO, 2013).

Com o intuito de minimizar o risco de colisões, diferentes medidas mitigatórias têm sido propostas. Entre essas medidas constam: o replanejamento da localização de linhas para formar corredores de voo (SCOTT *et al.*, 1972), instalação de cabos subterrâneos, alterações no *design* de torres (BEVANGER, 1994), linhas com diferentes níveis de cabos para-raios ou a remoção dos mesmos (ALONSO *et al.*, 1994; BEVANGER & BROSETH, 2001) e a sinalização de cabos para-raios com diferentes dispositivos (SCOTT *et al.*, 1972; ALONSO *et al.*, 1994; BROWN & DREWEN, 1995; SAVERENO *et al.*, 1996; JANSS & FERRER, 1998; DE LA ZERDA & ROSSELLI, 2003; BARRIENTOS *et al.*, 2012).

Os cabos para-raios têm como função reduzir a probabilidade de incidência de uma descarga elétrica direta nos condutores de fase. Levando-se em consideração custo e garantia de um fornecimento de energia seguro e contínuo, a sinalização desses cabos tem sido indicada como a forma mais apropriada para a mitigação da mortalidade de aves (ALONSO *et al.*, 1994; JENKINS *et al.*, 2010). Esses dispositivos de sinalização visam aumentar a visibilidade dos cabos pelas aves, proporcionando mais tempo para as mesmas evitarem a colisão (ALONSO *et al.*, 1994; JANSS, 2000).

Entretanto, a diversidade morfológica e comportamental observada nas diferentes famílias de aves pode significar que elas não respondam da mesma forma à presença dos dispositivos. Características como tamanho e formato corpóreo determinam o padrão de voo das aves e o risco de colisão (BEVANGER, 1998; JANSS, 2000; RUBOLINI *et al.*, 2005). A relação entre tamanho, peso e morfologia da asa difere entre as famílias e, portanto, o comportamento de voo das mesmas também difere devido às restrições mecânicas impostas pela adaptação ao voo (RAYNER, 1988; WANG & CLARKE, 2015).

Diferentes abordagens já foram utilizadas para verificar a efetividade dos sinalizadores. Embora a busca e observação de carcaças ao longo da linha seja uma forma de evidência direta das colisões das aves com os cabos, a detecção (disponibilidade e percepção das carcaças) é imperfeita, sendo raros os estudos que procuram lidar com essa potencial fonte de erro nos monitoramentos de LTs (COSTANTINI *et al.*, 2016). A observação do comportamento de voo das aves é uma medida indireta de risco, (*e.g.*, mudança gradual da altura e na direção de voo ao se aproximar da LT) e pode não permitir a diferenciação do efeito da presença da LT do efeito da presença do próprio sinalizador. Devido ao fato das colisões serem decorrentes dos voos com maior exposição ao risco (voos mais próximos aos cabos), optamos por utilizar uma variável imediata de risco, registrando posição e altura de voo em relação aos cabos no momento em que a ave atravessava a linha.

Considerando que diferentes famílias possuem distintos padrões de voo e capacidade de mobilidade e reação a obstáculos, nosso objetivo foi avaliar se a presença de sinalizadores modifica a proximidade do voo em relação aos cabos e a altura do voo quando os indivíduos cruzam as linhas de transmissão. Esperávamos que as aves voassem, em média, a distâncias maiores em relação aos cabos nos trechos sinalizados, quando comparados com os trechos não sinalizados. De forma semelhante, esperávamos que as aves voassem menos entre os cabos, admitindo voos mais seguros quando a sinalização está presente.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo. O estudo foi conduzido no litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Essa região é importante para a avifauna aquática, onde espécies residentes e migratórias utilizam o vasto sistema de lagoas e banhados como ponto de descanso, alimentação e corredor migratório (TOMAZELI & VILLWOCK, 1991; COSTA & SANDER, 2008; MÄDER, 2011). O clima da região é subtropical com temperaturas médias anuais que varia entre 17,5°C e 20°C e precipitação média anual entre 1.200 mm e 1.700 mm (JUSTUS, 1986).

A linha de transmissão estudada possui capacidade instalada de 69 kV e faz a conexão entre a Subestação do Parque Eólico Osório 2 (29°53'44,74"S 50°18'53,88"O) e a Subestação Tramandaí (30°03'17,52"S 50°10'41,58"O), com uma extensão total de 22,34 km (Fig. 1). Esse trajeto compreende quatro tipos de fisionomias de vegetação (da costa em direção ao interior do continente): dunas, campos alagadiços entre lagoas, arrozais e campo seco com manchas de floresta de restinga. A LT foi instalada em 2011, composta por 82 torres e 81 vãos de comprimento entre 233 e 300 metros e cerca de 20 metros de altura (dos cabos para-raio em relação ao solo). No momento da instalação da linha, alguns trechos da linha tiveram o cabo para-raio sinalizado com um dispositivo de formato espiral e cor amarela, do tipo Swan -Flight™ Diverter (SFD) (60 cm largura x 20 cm diâmetro máximo) fixados a cada 20 metros de distância um do outro. Os vãos sinalizados foram definidos antes da instalação da LT, com base na relação dos mesmos com a proximidade a ambientes aquáticos.

Coleta de dados. Iniciamos o monitoramento imediatamente após a instalação da linha, através de 16 campanhas de amostragem entre junho de 2011 e junho de 2013 nas quatro estações climáticas, distribuídas em quatro amostragens por estação. Em cada campanha amostramos oito vãos sinalizados e oito vãos não sinalizados, totalizando 16 unidades amostrais (28% da extensão total da linha) (Fig. 1). Os vãos amostrados em cada condição (sinalizado e não sinalizado) compreenderam todos os quatro tipos de fisionomia de vegetação, com pelo menos uma réplica em cada tipo de tratamento. Cada vão foi amostrado uma única vez em cada campanha.

A observação do voo das aves foi realizada em dois turnos, do nascer do sol até a metade da manhã e do meio da

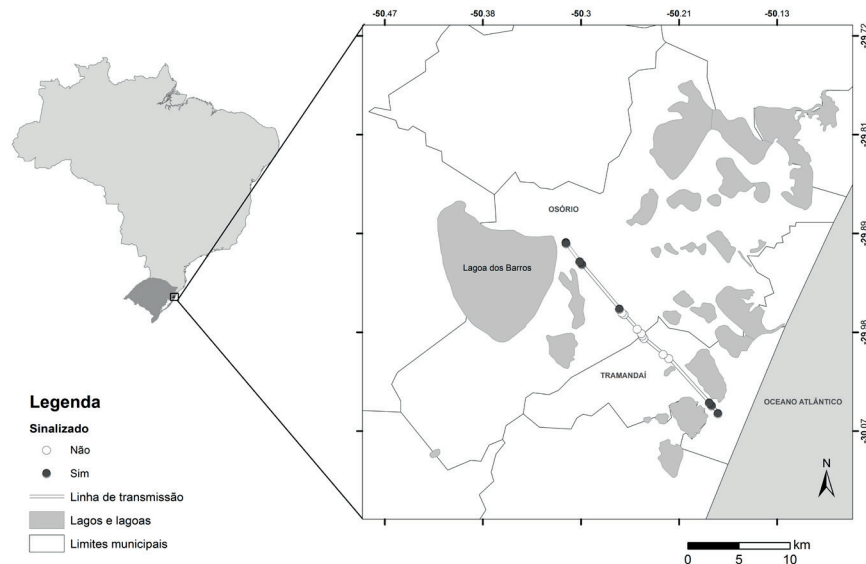


Fig. 1. Localização da linha de transmissão estudada no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Pontos vazados mostram a posição dos vãos sem sinalizadores e pontos pretos a posição dos vãos com sinalizadores.

tarde até o pôr do sol, totalizando 228 horas de amostragem no total. Em cada vão, o pesquisador permaneceu durante aproximadamente 50 minutos, próximo a uma das torres anotando as espécies de aves e os tipos de interações com os cabos da LT com auxílio de um binóculo 10x42.

Para cada interação de voo com a linha, avaliou-se o risco de colisão através de duas variáveis: a) distância do voo em relação ao conjunto de cabos da linha; b) posição do voo de transposição da linha de transmissão. A variável distância foi classificada conforme a ave cruzava a linha dentro ou fora de uma zona imaginária com distância de risco de cinco metros ao redor dos cabos, tanto acima quanto abaixo desses. Trata-se de uma distância intermediária em relação à adotada em outros estudos (*e.g.*, distância de três metros em SAVERENO *et al.*, 1996 e de dez metros em DE LA ZERDA *et al.*, 2003). Os voos ocorridos dentro da distância de risco foram considerados de maior perigo para as aves, em função da proximidade com os cabos. A variável posição de voo foi categorizada em três posições: I = abaixo dos cabos; II = entre os cabos e III = acima dos cabos. Das três posições de voo, a posição II é a que representa maior risco de colisão para as aves (SAVERENO *et al.*, 1996).

Análise dos dados. A habilidade de voo deriva da combinação de atributos morfológicos aparentemente estáveis dentro dos grupos taxonômicos distintos (RAYNER, 1988; WANG & CLARKE, 2015), isto é, são atributos filogeneticamente conservados. Por esse motivo, optamos por uma análise em nível de família, pois espécies aparentadas apresentam padrões morfológicos e comportamentais semelhantes e, portanto, com relação ao fator testado neste estudo podemos assumir que as espécies não são unidades independentes. A classificação das espécies nas famílias seguiu PIACENTINI *et al.* (2015).

Para a análise estatística consideramos número de eventos por família. Consideramos como um evento cada vez que um indivíduo ou bando era avistado interagindo com os cabos da linha, independente de quantos indivíduos estavam presentes no momento da observação.

A diferença entre trechos sinalizados e não sinalizados foi testada para cada família através do teste estatístico Qui-quadrado – Pearson, aplicado separadamente para as duas variáveis de risco: distância e posição do voo em relação aos cabos. Todas as análises foram conduzidas no programa estatístico R, com o uso do pacote MASS (VENABLES & RIPLEY, 2002) e consideramos alfa = 0,05.

Controlamos o efeito da paisagem na composição de espécies entre segmentos sinalizados e não sinalizados considerando apenas as espécies, agrupadas em suas respectivas famílias, que voaram em ambas as condições (sinalizada e não sinalizada). Somente analisamos as famílias que tiveram número superior a 40 eventos de interação.

RESULTADOS

Durante as dezesseis campanhas foram registrados 3.166 eventos de interações de aves nos vãos amostrados da linha de transmissão. Do total de interações, 2.496 foram de espécies que interagiram tanto em vãos sinalizados quanto não sinalizados, abrangendo 25 famílias (Fig. 2). Desse total de famílias, as famílias analisadas com número de eventos superior a 40 eventos ($n = 13$) somaram 2.291 interações com a linha de transmissão e tiveram seu comportamento de voo analisado (Fig. 3). Em geral, todas as famílias foram suscetíveis ao risco de colisão, com registro de voos dentro da distância de risco independente da presença ou não do sinalizador (Fig. 3). A família Columbidae, além de ter

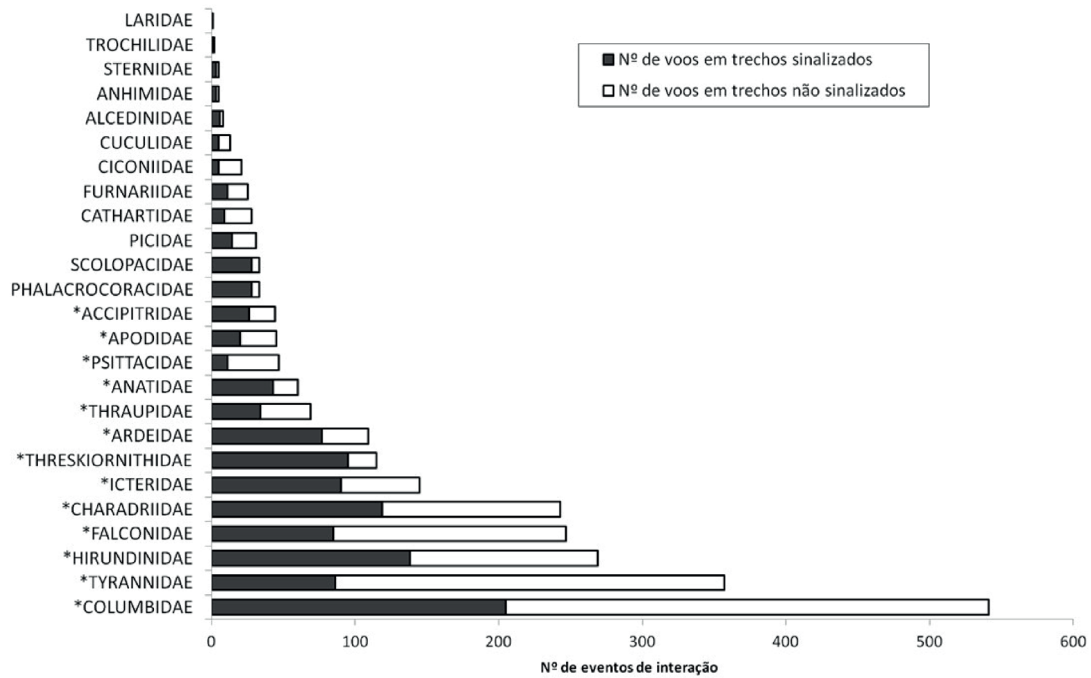


Fig. 2. Número de eventos registrados para cada família de aves que interagiu com segmentos das linhas de transmissão sinalizados (barras cinza) e não sinalizados (barras brancas), no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. (*) representam as famílias analisadas, com mais de 40 eventos.

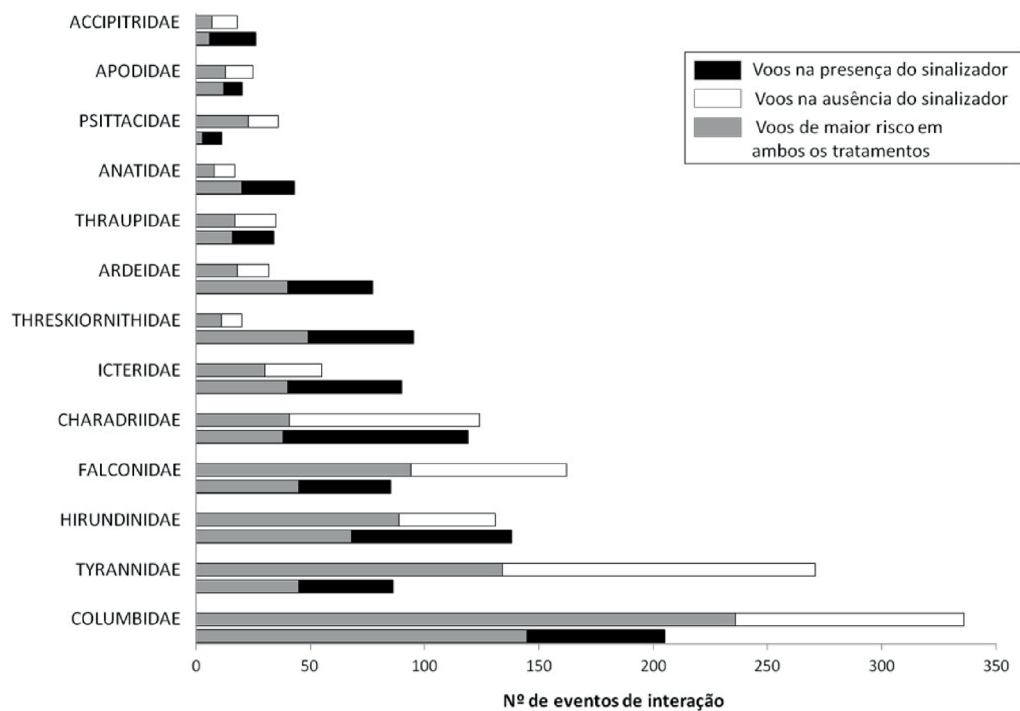


Fig. 3. Famílias analisadas com mais de 40 eventos (n = 13). Barras pretas (sobrepostas às barras brancas ou cinzas) representam o número de eventos com exposição ao risco de colisão de cada família em cada um dos tratamentos, trechos sinalizados (barras cinza) e trechos não sinalizados (barras brancas).

apresentado o maior número de eventos de interação, foi a que apresentou maior número de voos com maior exposição ao risco de colisão (Fig. 3).

A análise dos voos dentro e fora da distância de risco de cinco metros em relação aos cabos mostrou que apenas Hirundinidae apresentou diferença no comportamento de voo em vãos sinalizados ($\chi^2=8,88$; $p=0,002$) (Tab. I). Para essa família os voos com distâncias superiores à distância de risco foram mais frequentes em vãos sinalizados, o que poderia indicar um comportamento de menor risco de colisão

associado à presença do sinalizador.

Em relação à posição de transposição da linha, apenas cinco famílias puderam ser analisadas em função dos pressupostos da análise de Qui-quadrado (Columbidae, Tyrannidae, Hirundinidae, Falconidae, Charadriidae). Para essa variável, somente a família Hirundinidae obteve uma associação significativa ($\chi^2=8,07$; $p=0,004$) (Tab. I), exibindo maior frequência de voos entre os cabos (altura II) em vãos não sinalizados, o que poderia indicar um comportamento de maior risco na ausência dos sinalizadores.

Tab. I. Análise de Qui-quadrado (χ^2) das variáveis de risco - distância maior ou menor do que cinco metros em relação aos cabos da linha de transmissão e voo entre os cabos da linha de transmissão - entre vãos sinalizados não sinalizados, no litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Em negrito valores com associações significativas no teste, $p < 0,05$.

Família de aves	Frequência de eventos	Distância dos cabos		Posição de transposição da linha	
		(χ^2)	(p)	(χ^2)	(p)
Columbidae	541	0,0006	0,9801	1,519	0,2177
Tyrannidae	357	0,1166	0,7327	0,3465	0,5561
Hirundinidae	269	8,880	0,002	8,075	0,004
Falconidae	247	0,3971	0,5286	0,0767	0,9163
Charadriidae	243	0,0026	0,9591	0,0237	0,8774
Icteridae	145	1,019	0,3126		
Threskiornithidae	115	0,001	0,9744		
Ardeidae	109	0,0396	0,8421		
Thraupidae	69	0	1		
Anatidae	60	0	1		
Psittacidae	47	3,208	0,07324		
Apodidae	45	0,0551	0,8144		
Accipitridae	44	0,6308	0,4271		

DISCUSSÃO

Apesar da sinalização dos cabos para-raios ser indicada como a medida mais apropriada para a mitigação da mortalidade de aves causada por linhas de transmissão (ALONSO *et al.*, 1994; JANSS, 2000), nossos resultados não revelaram uma associação entre comportamento de menor risco de colisão e a presença de sinalizadores quando avaliados em nível de família. Independente da variável que utilizamos o uso de sinalizadores não determinou mudanças significativas no comportamento de voo que resultassem na redução do risco de colisões para a maior parte das famílias, com exceção de Hirundinidae.

A ausência de efeito dos sinalizadores verificada em nosso estudo para a maioria das famílias contrasta, por exemplo, com os resultados de LUZENSKI *et al.* (2016) que encontraram diferenças no comportamento de rapinantes de diferentes famílias e dos resultados de BARRIENTOS *et al.* (2012) e RAAB *et al.* (2012) que registraram redução na mortalidade por colisão. Ambos os estudos utilizaram um desenho do tipo *BACI* (*before and after – control impact*), antes e depois – controle e impacto, enquanto que em nosso estudo adotamos um desenho controle-impacto. Ao adotar esse desenho amostral, assumimos que a única diferença entre as áreas é a presença ou ausência dos sinalizadores, quando, por exemplo, a composição dos ambientes associados à linha de transmissão e, por conseguinte da assembleia de aves, pode ser distinta entre os tratamentos. Procuramos contornar

essa limitação apenas avaliando aves com ocorrência nas duas condições, sinalizada e não sinalizada.

Alguns estudos que também usaram variáveis de comportamento de voo evidenciaram efeito positivo dos sinalizadores na redução do risco de colisão. BROWN & DREWIEN (1995) encontraram que as aves, em geral, reagiram mais cedo e voaram mais alto sobre linhas sinalizadas do que sobre linhas não sinalizadas. No estudo de ALONSO *et al.* (1994) a mudança na altura de voo nas quais as aves atravessavam a linha e o número menor de indivíduos voando entre os cabos após a sinalização com dispositivos de formato espiral e de cor vermelho, sugere que as aves avistavam os sinalizadores e aumentavam a altura de voo para evitar a colisão com os cabos. Ao analisar o comportamento de evitamento dos cabos pelas aves, SAVERENO *et al.* (1996) concluíram que o evitamento das linhas para alguns grupos taxonômicos (Laridae e Scolopacidae), diferentes dos que entraram em nossa análise, foi relacionado de forma significativa com a presença de sinalizadores de formato de esferas na cor amarela. Todos estes estudos usaram formatos ou cores distintas de sinalizadores e também diferem na composição das assembleias de aves em relação ao nosso estudo.

DE LA ZERDA & ROSSELLI (2003) quando testaram a eficiência dos sinalizadores (espirais amarelos) na avifauna em geral, também não verificaram eficiência dos dispositivos através da análise de mudança do comportamento de voo, o que corrobora com nosso estudo. No entanto, CROWDER

(2000) registrou redução da frequência de colisão das aves após a marcação dos cabos com o mesmo tipo de sinalizador presente neste trabalho. Apesar de não termos avaliado a influência de outros fatores relacionados aos sinalizadores, há evidências na resposta das aves em relação à coloração dos sinalizadores, pois, resultados que associam a diminuição do risco de colisão com dispositivos em espirais foram encontrados para as cores vermelhas (ALONSO *et al.*, 1994) e brancas (JANSS & FERRER, 1998).

Alguns trabalhos sugerem que é possível que nenhum marcador específico seja igualmente eficaz para todas as espécies de aves ou em todas as situações, o que implica que são necessárias investigações com outros tipos de dispositivos não visuais (BARRIENTOS *et al.*, 2012). Além disso, na hora da escolha do sinalizador mais apropriado, tamanho, cor (para maior contraste dos fios contra o fundo), preço, durabilidade, forma e densidade de dispositivos devem ser avaliados (JANSS & FERRER, 1998; BARRIENTOS *et al.*, 2011; 2012), assim como as questões sensoriais e comportamentais de diferentes grupos e espécies de aves alvo (BEVANGER, 1998). Provavelmente, um sistema de mitigação com múltiplos modelos de sinalizadores pode ser mais eficiente do que outros baseados em um único modelo.

Concluindo, os sinalizadores em espiral amarela (Swan -Flight™ Diverter) não foram efetivos na mudança da exposição ao risco de colisão da maioria das famílias que analisamos. Nós sugerimos que a generalidade dessa conclusão possa ser testada com o emprego de meta-análises, utilizando como réplicas os múltiplos empreendimentos de linhas de transmissão recentemente implantados. Para o aperfeiçoamento dessas análises é fundamental que órgãos licenciadores demandem que os estudos sejam realizados com desenhos amostrais mais robustos, do tipo *BACI* ou *BACIPS* (com controle antes da implantação da linha, após implantação e após sinalização) (THIAULT *et al.*, 2016), incluindo tanto o monitoramento das colisões quanto de variáveis comportamentais. Caso contrário, os recursos financeiros estarão sendo desperdiçados e, sobretudo, as medidas implantadas poderão estar sendo inócuas na redução do risco de colisões das aves.

Agradecimentos. Gostaríamos de agradecer a EDP Renováveis Brasil e a Ivan dos Anjos pelo convite para o trabalho de monitoramento da linha de transmissão do Parque Eólico de Tramandaí. Este monitoramento surgiu como adequação do empreendimento às leis brasileiras de licenciamento ambiental e seguiu as diretrizes do plano de trabalho submetido e aprovado previamente pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), conforme determina o item 4.1 das Condições e Restrições presentes na LI nº 1093/2011-D. Também gostaríamos de agradecer ao Glayson Bencke, Jan Karel Felix Mähler Junior e à Gabriele Volkmer pelas sugestões a uma versão anterior do manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO, J. C.; ALONSO, J. A. & MUÑOZ-PULIDO, R. 1994. Mitigation of bird collisions with transmission lines through groundwire marking. **Biological Conservation** 67(2):129-134.
- BARRIENTOS, R.; ALONSO, J. C.; PONCE, C. & PALACÍN, C. 2011. Meta-analysis of the effectiveness of marked wire in reducing avian collisions with powerlines. **Conservation Biology** 25(5):893-903.
- BARRIENTOS, R.; PONCE, C.; PALACÍN, C.; MARTÍN, C. A.; MARTÍN, J. C. & ALONSO, J. C. 2012. Wire marking results in a small but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. **PLoS One** 7(3):e32569.
- BEVANGER, K. 1994. Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures. **Ibis** 136(4):412-425.
- BEVANGER, K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. **Biological Conservation** 86:67-76.
- BEVANGER, K. & BROSETH, H. 2001. Bird collisions with power lines – an experiment with ptarmigan (*Lagopus* spp.). **Biological Conservation** 99(3):341-346.
- BROWN, W. M. & DREWEN, R. C. 1995. Evaluation of two power line markers to reduce crane and waterfowl collision mortality. **Wildlife Society Bulletin** 23(2):217-227.
- COSTANTINI, D.; GUSTIN, M.; FERRARINI, A. & DELL'OMO, G. 2016. Estimates of avian collision with power lines and carcass disappearance across differing environments. **Animal Conservation** 20(2):173-181.
- COSTA, E. S. & SANDER, M. 2008. Variação sazonal de aves costeiras (Charadriiformes e Ciconiiformes) no litoral norte do Rio Grande do Sul. **Biodiversidade Pampeana** 6(1):3-8.
- CRIVELLI, A. J.; JERRENTURP, H. & MITCHEV, T. 1988. Electric power lines: a cause of mortality in *Pelecanus crispus* Brunch, a world endangered bird species. **Collection Waterbirds** 11(2):301-305.
- CROWDER, M. R. 2000. **Assessment of devices designed to lower the incidence of avian power line strikes**. Unpublished MSc Thesis. Purdue University, West Lafayette.
- DE LA ZERDA, S. & ROSELLI, L. 2003. Mitigación de collision de aves contra líneas de transmission eléctrica com marcaje del cable de guarda. **Ornithologia Colombiana** 1(1):42-62.
- DREWITT, A. L. & LANGSTON, R. H. W. 2008. Collision effects of windpower generators and other obstacles on birds. **Annals of the New York Academy of Sciences** 1134:233-266.
- DUNKIN, S. W.; GUTHERY, F. S.; DEMASO, S. J.; PEOPLES, A. D. & PARRY, E. S. 2009. Influence of anthropogenic structures on northern bobwhite space use in western Oklahoma. **Journal of Wildlife Management** 73(2):253-259.
- ERICKSON, W. P.; JOHNSON, G. D. & YOUNG, D. P. JR. 2005. A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. **Department of Agriculture Forest Service General Technical Report** 191:1029-1042.
- HOVICK, T. J.; DAHLGREN, D. K.; PAPEŠ, M.; ELMORE, R. D. & PITMAN, J. C. 2015. Predicting Greater Prairie-Chicken lek site suitability to inform conservation actions. **PLoS ONE** 10(8):e0137021.
- JANSS, G. F. E. 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. **Biological Conservation** 95(3):353-359.
- JANSS, G. F. E. & FERRER, M. 1998. Rate of bird collision with powerlines: effects of conductor-marking and static wire-marking. **Journal of Field Ornithology** 69(1):8-17.
- JENKINS, A. R.; SMALLIE, J. J. & DIAMOND, M. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. **Bird Conservation International** 20(3):263-278.
- JUSTUS, A. R. M. 1986. Uso potencial da terra. Capacidade de uso dos recursos naturais renováveis. In: IBGE. **Levantamento de recursos naturais 33**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p. 633-696.
- KRÜGER, S. C.; SIMMONS, R. E. & AMAR, A. 2015. Anthropogenic activities influence the abandonment of bearded vulture (*Gypaetus barbatus*) territories in southern Africa. **Condor** 117(1):94-107.
- LOSS, S. R.; WILL, T. & MARRA, P. P. 2014. Refining estimates of bird collision and electrocution mortality at power lines in the United States. **PLoS ONE** 9(7):e101565.
- LOSS, S. R.; WILL, T. & MARRA, P. P. 2015. Direct Mortality of Birds from Anthropogenic Causes. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics** 46:99-120.
- LUZENSKI, J.; ROCCA, C. E.; HARNES, R. E.; CUMMINGS, J. L.; AUSTIN, D. D.; LANDON, M. A. & DWYER, F. 2016. Collision avoidance by migrating raptors encountering a new electric power transmission line. **Condor** 118(2):402-410.

- MÄDER, A. 2011. Litoral Norte do Rio Grande do Sul. *In*: VALENTE, R.M.; DA SILVA, J. M. C.; STRAUBE, F. C. & DO NASCIMENTO, J. L. X. **Conservação de aves neárticas migratórias no Brasil**. Belém, Conservation International, p. 317-320.
- MARTÍNEZ, J. E.; ZUBEROGOITIA, I.; JIMÉNEZ-FRANCO, M. V.; MAÑOSA, S. & CALVO, J. F. 2016. Spatio-temporal variations in mortality causes of two migratory forest raptors in Spain. **European Journal of Wildlife Research** 62(1):109-118.
- MICHENER, H. 1928. Where engineer and ornithologist meet: Transmission lines caused by birds. **Condor** 30(3):169-175.
- PIACENTINI, V. Q.; ALEIXO, A.; AGNE, C. E.; MAURICIO, G. N.; PACHECO, J. F.; BRAVO, G. A.; BRITO, G. R. R.; NAKA, L. N.; OLMOS, F.; POSSO, S.; SILVEIRA, L. F.; BETINI, G. S.; CARRANO, E.; FRANZ, I.; LEES, A. C.; LIMA, L. M.; PIOLI, D.; SCHUNCK, F.; AMARAL, F. R.; BENCKE, G. A.; COHN-HAFT, M.; FIGUEIREDO, L. F. A.; STRAUBE, F. C. & CESARI, E. 2015. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee. **Revista Brasileira de Ornitologia** 23(2):91-298.
- RAAB, R.; SCHÜTZ, C.; SPAKOVSKY, P.; JULIUS, E. & SCHULZE, C. H. 2012. Underground cabling and marking of power lines: Conservation measures rapidly reduced mortality of West-Pannonian Great Bustards *Otis tarda*. **Bird Conservation International** 22(3):299-306.
- RAPOSO, M. A. F. 2013. **Aves & linhas de transmissão - um estudo de caso**. Rio de Janeiro, Editora Arte Ensaio. 128p.
- RAYNER, J. M. V. 1988. Form and function in avian flight. **Current Ornithology** 5:1-66.
- RIoux, S.; SAVARD, J. P. L. & GRICK, A. A. 2013. Avian mortalities due to transmission line collisions: a review of current estimates and field methods with an emphasis on applications to the Canadian electric network. **Avian Conservation and Ecology** 8(2):1-18.
- RUBOLINI, D.; BUSTIN, M.; BOGLIANI, G. & GARAVAGLIA, R. 2005. Birds and powerlines in Italy: an assessment. **Bird Conservation International** 15(2):131-145.
- SAVERENO, A. J.; SAVERENO, L. A.; BOETTCHER, R. & HAIG, S. M. 1996. Avian behavior and mortality at power lines in coastal South Carolina. **Wildlife Society Bulletin** 24(4):636-648.
- SCOTT, R. E.; ROBERTS, L. J. & CADBURY, C. J. 1972. Birds deaths from power lines at Dungeness. **British Birds** 65(7):273-286.
- SHAW, J. M.; JENKINS, A. R.; SMALLIE, J. J. & RYAN, P. G. 2010. Modelling power-line collision risk for the Blue Crane *Anthropoides paradiseus* in South Africa. **Ibis** 152(3):590-599.
- SPORER, M. K.; DWYER, J. F.; GERBER, B. D.; HARNESS, R. E. & PANDEY, A. K. 2013. Marking power lines to reduce avian collisions near the Audubon national wildlife refuge, North Dakota. **Wildlife Society Bulletin** 37(4):796-804.
- THIAULT, L.; KERNALÉGUEN, L.; OSENBURG, C. W. & CLAUDET, J. 2016. Progressive-Change BACIPS: a flexible approach for environmental impact assessment. **Methods in Ecology and Evolution** 8(3):288-296.
- TOMAZELLI, L. & VILLWOCK, J. 1991. Geologia do Sistema Lagunar Holocênico do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências** 18(1):13-24.
- VENABLES, W. N. & RIPLEY, B. D. 2002. **Modern Applied Statistics with S**. 4ed. New York, Springer. 495p.
- WALKER, B. L.; NAUGLE, D. E. & DOHERTY, K. E. 2007. Greater sage-grouse population response to energy development and habitat loss. **Journal of Wildlife Management** 71(8):2644-2654.
- WANG, X. & CLARKE, J. A. 2015. The evolution of avian wing shape and previously unrecognized trends in covert feathering. **Proceedings Royal Society B** 282:1-9.