



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Ciências Biológicas



Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre

TESE DE DOUTORADO

Eficiência da falcoaria com *Parabuteo unicinctus* no controle da avifauna em dois aeroportos brasileiros



Carlos Eduardo Alencar Carvalho

Belo Horizonte

Minas Gerais – Brasil

2018



Carlos Eduardo Alencar Carvalho

**Eficiência da falcoaria com *Parabuteo unicinctus*
no controle no da avifauna em dois aeroportos
brasileiros**

Tese apresentada à Universidade Federal de Minas Gerais, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, para obtenção do título de Doutor em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre.

Orientador - Dr. José Eugênio Côrtes Figueira

Co-orientador - Dr. Adriano Paglia

Belo Horizonte

2018



AGRADECIMENTOS

Este estudo contou com o auxílio de várias associações, pessoas e instituições:

Primeiramente à Universidade Federal de Minas Gerais e ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre por acreditar no meu projeto, aceitando-me como aluno;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à empresa Biocev Projetos Inteligentes, pelas bolsas concedidas;

Ao meu grande amigo e professor José Eugênio Côrtes Figueira por ter aceitado ser meu orientador, mesmo abordando temas fora de sua linha de estudo. Obrigado pela paciência, amizade e confiança depositados;

Ao profissional Gerson Evangelista pelo apoio e auxílio na coleta de dados do estudo;

À Ludmila Figueiredo pelo apoio e companheirismo ao ensinar as análises no programa R durante grande parte do desenvolvimento deste doutorado;

Aos professores Frederico Neves, e Ricardo R. C. Solar pela co-orientação indireta durante a execução dos trabalhos aqui apresentados. Todas as discussões e trocas de idéias foram essenciais para os resultados aqui alcançados;

Ao professor Adriano Paglia por me auxiliar em diversos dias, elucidando inúmeras dúvidas;

Aos professores Tadeu Guerra e Camila Teixeira pelo auxílio na publicação e trocas de idéias, essenciais para os resultados aqui alcançados;

A todos os amigos Ronald Carvalho Junior, Marcus Canuto, Carlos Eduardo Benfica, Pablo Pezoa Poblete, João Paulo Diogo, Henrique Belfort Gomes, Redelvim Dumont Neto, Affonso, pelas eventuais discussões e trocas de idéias referentes ao estudo;

Toda a comunidade da ABFPAR e PRO-RAPTORS por apoiarem o estudo direta e



indiretamente;

À minha amada esposa e companheira Adriana Nery por estar do meu lado desde o dia que a conheci, apoiando-me e auxiliando no estudo e em toda vida cotidiana;

Aos amigos João Bueno, Paulo Cardoso, Márcio Mascarenhas, Leonardo Eustáquio, Roque Bastos, Felipe Quintela, Mauricio Pinheiro, Leonardo Armond pelas noites de role playing games e as discussões sobre o *Mito Heróico*.

Aos amigos do Kudo – onde confluem todas as técnicas de artes marciais, por me auxiliarem no *Caminho da verdade*.

Meus amigos da arte suave, Sensei Tubarão e Renato, e ao Jiu-jitsu, que continua salvando as mentes do stress inevitável que é viver neste século.

Ao meu Grande Mestre Francisco Carvalho pelos ensinamentos que me passou quando jovem que ainda me fazem transcender.

A todos os verdadeiros amigos do bairro, muitíssimo obrigado pela amizade e cumplicidade, pelos momentos de lazer e diversão.

E finalmente à minha família, meus irmãos e especialmente meu pai Fábio e minha mãe Denise, pela incrível história vitoriosa e a maior vontade de viver que conheci.



1	SUMÁRIO	
2	APRESENTAÇÃO	Error! Bookmark not defined.
3	INTRODUÇÃO GERAL	7
4	Capítulo I	19
	Bird responses to Falconry activity reduces the risk for accidents involving bird strikes at a Brazilian Airport	19
	Abstract	21
	Introduction	22
	Material and Methods	25
	Results	31
	Discussion	38
	Conclusions	41
	References	42
6	Capítulo II	51
	Sensibilidade da assembléia de aves ao aumento de risco de predação em dois aeroportos brasileiros e consequências à segurança aeroportuária	51
	Introdução	53
	Metodologia	55
	Resultados	60
	Discussão	71
	Conclusão	73
	Referências Bibliográficas	74
7	CONCLUSÃO GERAL	83
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
9	Anexo I	95
10	Anexo II	104

2 APRESENTAÇÃO

Carlos Eduardo Alencar Carvalho possui graduação em Ciências biológicas (2000) e mestrado em Zoologia de Vertebrados (2004), ambos pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (2004). Tem experiência nas áreas de Zoologia e Ecologia, com ênfase em Ecologia



Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: Manejo e Conservação de rapinantes, uso de técnicas de falcoaria para Controle de Fauna e reabilitação de aves de rapina, Biologia Reprodutiva de rapinantes *in-situ* e *ex-situ*, Biologia e ecologia alimentar de aves neotropicais, Avifauna e Ecossistemas tropicais. Foi fundador (1996), diretor-presidente (1996 a 2004) e diretor técnico (2004 a 2013) da S.O.S. Falconiformes – Centro de Pesquisa para a Conservação das Aves de Rapina Neotropicais. Em 2014, iniciou doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (ECMVS) com a Tese Eficiência de Falcoaria e manejo de fauna em Aeroportos.

O presente estudo representa a Tese de Doutorado apresentada por Carlos Eduardo Alencar Carvalho ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (ECMVS) (janeiro de 2014 a 31 de maio 2018), com dados coletados nos aeroportos: (1) - Aeroporto Carlos Drummond Andrade (Belo Horizonte, MG) e (2) - Aeroporto Internacional de Tancredo Neves (Confins, MG). A realização deste estudo experimental teve o amparo das licenças de manejo de fauna do IBAMA AUTORIZAÇÃO PARA MANEJO DE FAUNA SILVESTRE Nº 424.0004/2016 – processo SEMAD Nº 01786/2003/003/2010 vinculado ao CERTIFICADO DE LICENÇA DE OPERAÇÃO Nº 205/2011 com validade a 01/08/2017. é importante também evidenciar que todos métodos utilizados para manejo dos animais capturados no estudo foram de acordo com políticas e diretrizes da ARRP - Animal Research Review Panel (<https://www.animaethics.org.au/policies-and-guidelines/wildlife-research>).

3 INTRODUÇÃO GERAL

O perigo aviário pode ser definido como a ameaça potencial de colisão entre aeronaves e aves, quer seja no espaço aéreo quer seja no solo, colocando em risco a segurança de vôo (Pereira, 2008). Colisões entre aeronaves e a fauna, principalmente avifauna, ocorrem em todo o mundo, desde pequenos incidentes quase imperceptíveis, até acidentes envolvendo a queda de aeronaves e a morte de passageiros e tripulantes.

Assim, os registros de acidentes envolvendo fauna silvestre nos Estados Unidos vêm crescendo com o passar dos anos: passaram de 1800 registros, no ano de 1990, para 6.000 nos anos de 2001, 2002 e 2003, sendo que 95% destas colisões envolveram aves (Cleary and Dolbeer 2005). Deste total, 32% representados por aves aquáticas (garças, biguás, socós etc), 28% com gaivotas, 17% com rapinantes, 8% com pombos e 15% com espécies não identificadas. A análise destes acidentes sugere padrões, pois 51% aconteceram entre julho e outubro, 63% durante o dia; 58% durante a descida para pouso e 36% na decolagem. Por fim, 94% dos acidentes ocorreram abaixo de 900 metros, sendo 74% abaixo de 31 metros (http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2011_q3/4/).

A partir da década de 1950 (Figura 1), quando as aeronaves passaram a ser movidas por turbinas, tornando-se mais rápidas e com sucção de ar, aumentaram os acidentes entre aves e aeronaves (Allan, 2000; Mendonça, 2009). Desde então, diversos aviões, incluindo grandes jatos de transporte foram perdidos, e centenas de pessoas faleceram (Mendonça, 2005).

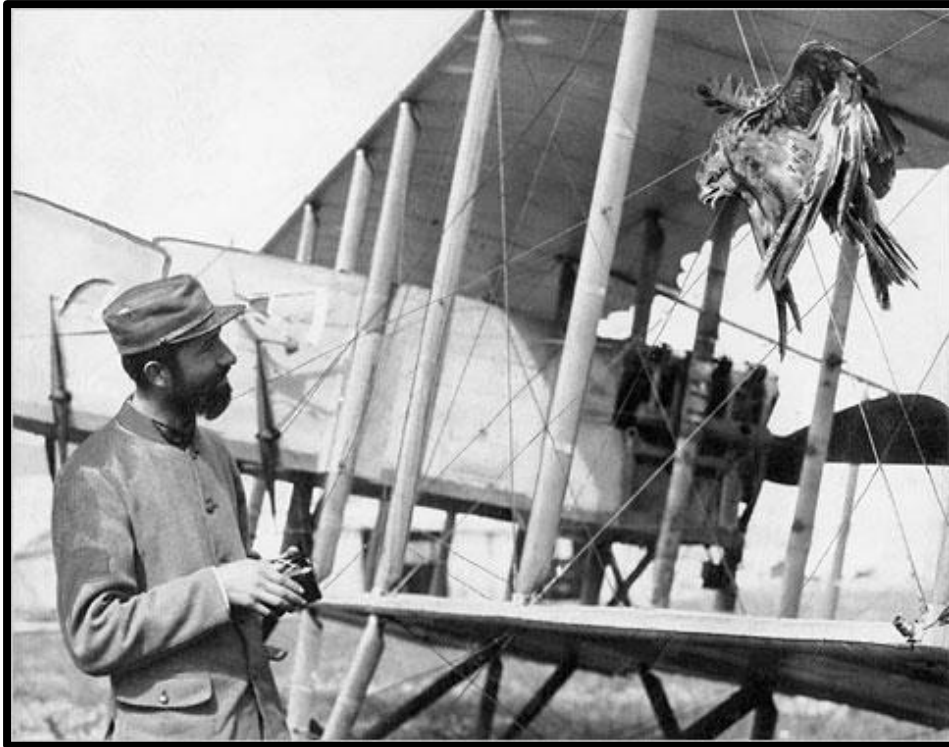


Figura 1: Fotografia histórica de colisões entre aeronaves e aves em 1916. Uma pesquisa no arquivo de fotos do The Times revelou a imagem acima, publicada em 1º de outubro de 1916 - no meio da Primeira Guerra Mundial - com a seguinte legenda: *Fotografia oficial francesa notável de um falcão alcançado em voo por um avião militar francês.*

De acordo com Mendonça (2009), os gastos anuais das principais empresas de transporte aéreo devido ao perigo aviário superam seis milhões de dólares. Apesar dos esforços de organizações públicas, civis e militares voltadas para o controle do perigo aviário, verifica-se que, ao longo dos anos, houve aumento no número de colisões reportadas.

A utilização da falcoaria para controle da presença indesejada de aves já vem sendo aplicada em diversos aeroportos nos Estados Unidos e Europa, e teve início no Brasil no Aeroporto de Belo Horizonte – Pampulha – Carlos Drummond de Andrade/MG (Carvalho, *et al.* 2016b).

Na Espanha esta atividade foi iniciada em 1968, como uma forma experimental na Base Aérea de Torrejón de Ardoz, desde 1970 é utilizada continuamente nos aeroportos (Solman, 1973) e demonstrou resultados satisfatórios expandindo para outros Espanha (Enrique, 2004).



De acordo com Carvalho *et al.* (2018) a utilização de aves de rapina em atividades de falcoaria em aeroportos pode ser fundamentada numa linha da ciência chamada ecologia do “medo”, onde a presença constante de predadores pode causar efeitos à aptidão individual das espécies, levando a abruptas diminuições nas densidades das populações sensíveis e a mudanças nas composições das comunidades (Cresswell, 2008).

A falcoaria tradicional consiste no método de treinamento de aves de rapina para caça de subsistência e sua origem remonta a um período anterior à idade do Bronze (há mais de 4000 mil anos atrás) até os dias de hoje, representando a perpetuação de uma tradição milenar. Esta arte, que chegou ao século XXI através da transmissão familiar de pais para filhos, foi considerada pela UNESCO como Património Cultural Intangível da Humanidade no dia 16 de Novembro de 2010 (<https://ich.unesco.org/en/RL/falconry-a-living-human-heritage-01209>). Atualmente, esta foi modificada para fins ecológicos na conservação de espécies e também para controle populacional, seja de pragas sinantrópicas ou na prevenção de acidentes aéreos (Baxter et al 2006).

Em contraste com a falcoaria tradicional, na qual o sucesso da captura é o mais importante, o maior benefício do uso da falcoaria em aeroportos consiste na sedimentação instintiva do “medo” por parte das outras aves habitantes, acarretando na sua dispersão para áreas vizinhas (Carvalho, 2018 comunicação pessoal), uma vez que a intimidação afeta tanto a abundância de presas quanto a própria predação (Lima e Bednekoff, 2011).

De acordo com Thiériot (2015) o uso da falcoaria é um método de dispersão de aves muito útil, porque além de obter ótimos resultados, e boa percepção pública é geralmente mais aceitável socialmente do que o sacrifício letal.

Quando se introduz um predador num sistema ecológico, observa-se a transformação da paisagem com maior grau de risco de predação (Brown and Kotler, 2001). O risco de predação pode ser considerado como a probabilidade de um espécime ser predado em determinado local (Rypstra *et al.*, 2007). Isto pode ser diferenciado pelas características do ambiente, pelo número de predadores em atividade de forrageio, pelo número de presas, dentre outros. Este conceito é conhecido como paisagem do “medo” (PMD) e foi introduzido por Laundré *et al.* (2010).

Para aprofundarmos no assunto e entendermos as linhas ecológicas em que este estudo foi embasado, torna-se interessante dissertarmos sobre determinados conceitos:

O “medo” pode ser definido como “perturbação que se sente com a idéia de um perigo real ou aparente ou com a presença de alguma coisa estranha ou perigosa”; “Sentimento inquietante que se tem diante de perigo ou ameaça; FOBIA; PAVOR; TERROR; RECEIO” (<http://www.aulete.com.br/medo>). De acordo com Hart e Sussman (2005) para os humanos primitivos emergentes, o “medo” dos perigos conhecidos como, dos mega predadores, levou-os a procurar refúgio em cavernas e árvores. Assim, atualmente, o “medo” ainda é adicionado a nossa vida cotidiana, apesar de termos outros tipos de predadores em *faces* diferentes, mas provavelmente estratégias parecidas. O “medo” de assaltos nos leva a mudar as rotas, trancar as portas de nossas casas e carros, evitar viagens de avião por medo de quedas de aeronaves, etc. Andamos com armas, criamos estruturas de seguranças, tudo isso por “medo”. Portanto o “medo” guia nossas reações muitas vezes de forma inconsciente, representando nossa antecipação de risco-perigo, em outras palavras, o risco de predação. Entretanto, não só os humanos desfrutam desta característica, sendo uma reação compartilhada entre todos os animais, pois esta adaptação ao perigo sustenta a sobrevivência e está presente na história evolutiva dos animais (Laundré *et al* 2010). Portanto o “medo”, então, consiste em um importante elemento comportamental na relação predador-presa definindo o risco que podemos correr.

O risco de predação é o fator de percepção que um animal tem de ser predado (cf. Laundré, Hernández & Altendorf, 2001; Laundré, Hernandez & Ripple, 2010). De acordo com Brown (1999) a alteração da paisagem do “medo” pode ocorrer de três formas principais: (1) diversidade da comunidade de predadores, (2) intensidade de predação e (3) informação (quão bem o animal pode prever a sua probabilidade de ser atacado). De forma geral, presas ao forragear, precisam decidir estrategicamente onde procurar recursos com base no tipo de risco apresentado pelos predadores que provavelmente enfrentarão: se são presas de perseguição aérea de longa distância, como falcões de emboscada, corujas, ou de velocidades curtas, como açores. Estas decisões serão muito diferentes uma das outras, pois erros estratégicos podem custar a vida (Carvalho, 2018 comunicação pessoal). De acordo com Bleicher (2016), Gerbils do deserto Negev são capazes de alterar o risco de predação para se ajustar à corujas, de certa forma uma ameaça maior do que víboras. Da mesma forma, os recursos da Paisagem do “medo” serão alterados com base nos níveis de atividade do predador.

A paisagem do “medo” representa níveis relativos de risco de predação como picos e vales que refletem o nível de “medo” da predação que uma presa experimenta em diferentes partes de sua área de vida. De acordo com Laundré (2010) a paisagem do “medo” pode ser quantificada com o uso de métodos que medem a redução de densidades, observações de vigilância, etc. O “medo” pode ser um benefício e, em inúmeros estudos demonstram que, quanto mais “medo” o animal tiver, mais vigilante ele estará (Quenette 1990, Hunter and Skinner 1998, Treves *et al* 2003, Wolff and Van Horn 2003, Halofsky and Ripple 2008). Por outro lado, pode acarretar vários riscos. O aumento de vigilância, por exemplo, pode levar à diminuição considerável no forrageio, o que significa se alimentar menos, levando muitas vezes à redução do *fitness*, desnutrição e perda de ninhadas. De acordo com Martin (2011) o aumento de risco de predação acarretou uma diminuição do sucesso reprodutivo de pardais (*Passer domesticus*) apenas pela vocalização de predadores em seu território reprodutivo. As PDMs são afetadas por uma grande variedade de variáveis biológicas, evolutivas e, às vezes, geográficas (Bleicher 2017).

Temos com o presente estudo os seguintes objetivos: (1) testar a eficiência da falcoaria como uma ferramenta de gerenciamento de risco em aeroportos usando o gavião-asa-de-telha (*Parabuteo unicinctus*); (2) investigar o impacto do aumento de risco de predação imposto pela falcoaria com (*P. unicinctus*) na assembleia de aves em dois aeroportos brasileiros; (3) identificar qual ou quais características são responsáveis pelas aves responderem ao aumento de risco de predação imposto pela falcoaria com *P. unicinctus*; (4) identificar qual ou quais características das aves podem ser associadas às colisões com aeronaves; (5) investigar como a falcoaria influencia as espécies potencialmente perigosas e como elas reagem a este risco de predação; (6) investigar se o uso da falcoaria pode diminuir as colisões entre aves e aeronaves em dois aeroportos brasileiros.

Para tal, orientamo-nos através das seguintes hipóteses:

- 1) Aves mais abundantes têm maiores chances de colidirem com aeronaves e de responderem à falcoaria.
- 2) A falcoaria altera a abundância, a composição e riqueza de aves nos aeroportos;

- 3) O tamanho, peso determinam se a espécie é ou não sensível ao risco de predação imposto pela falcoaria;
- 4) A ocorrência e abundância das espécies perigosas (espécies presentes em colisões com aeronaves) varia de acordo com a sua sensibilidade ao predador e ao aumento do risco de predação;
- 5) O risco de predação com uso da falcoaria aplicada em aeroportos é funcional, eficiente e reduz a abundância de aves e conseqüente reduz colisões entre aves e aeronaves.

Metodologia

O estudo foi realizado nas áreas operacionais dos aeroportos:

1- Aeroporto de Belo Horizonte Carlos Drummond Andrade (ACDA) – Belo Horizonte/MG. Construído na década de 30, o aeroporto de Belo Horizonte tem capacidade para atender até 1,5 milhões de passageiros ao ano. Com o crescimento da cidade, se transformou em aeroporto central, inserido no contexto urbano desta. O aeródromo está instalado em uma área aproximada de 580 mil m², na região da Pampulha, distante 8 km do centro de Belo Horizonte.

2 – Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN)- Confins/MG está situado nos municípios de Confins e de Lagoa Santa, em Minas Gerais. A área do AITN abrange Confins, Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos, Ribeirão das Neves, Vespasiano, Belo Horizonte, Santa Luzia, Sabará, Taquaraçu de Minas, Jaboticatubas e Capim Branco. Construído na década de 80, este aeroporto tem capacidade de receber grandes aeronaves, Capacidade para 22 milhões de passageiros/ano e 132 mil m² de área, sendo 52 mil m² na nova área.

*Escolha de Gavião-asa-de-telha (*Parabuteo unicinctus*) para o estudo*

Nós definimos a espécie *P. unicinctus* para utilização no estudo por ser uma espécie versátil no treinamento para falcoaria e muito usada no Brasil pelos falcoeiros (Carvalho, 2018 comunicação pessoal). Neste contexto há facilidade dos profissionais para o aprendizado, nas modificações da metodologia e de treinamento de aves recém novas.



Esta é também uma das únicas espécies liberadas para comércio no Brasil, dando segurança na continuidade do estudo caso necessite de substituição ocasionada por perda ou morte de algum indivíduo treinado.

Outra premissa para escolha da espécie foi ter comportamento de perseguição ativa de presas no forrageio e sua dieta conter em boa parte aves (Del Hoyo and Collar, 2014). Figueroa e González-Acuña (2006) observaram a presença de aves na dieta de *P. unicinctus* similares às espécies que causam risco de colisões com aeronaves nos aeroportos estudados.

Período de amostragem do estudo

A Amostragem deste estudo foi de três anos consecutivos, de janeiro de 2014 a dezembro 2016. Os Censos avifaunísticos ocorreram um dia por semana no período matutino e vespertino. Já a falcoaria com o Gavião-asa-de telha (*Parabuteo unicinctus*) 5 vezes por semana, também matutino e vespertino.

Censo Avifaunístico

Nós usamos o método de transectos por pontos de Sauer *et al.* (2001) nos mesmos pontos onde utilizamos a falcoaria (Figura 1), modificados de acordo com Carvalho *et al.* (2018). Para que todos os pontos fossem amostrados em todos os horários definidos, os horários de amostragem dos pontos foram prefixados, diminuindo erros e tendências de melhores detecção de espécies em certos horários (Buckland *et al.* 2001 e Rosenstock *et al.* 2002). A distância entre os *plots* foi definida de acordo com Sutherland *et al.* (2004) que sugere 300 metros de distância entre os pontos dos transectos. Estas distâncias foram medidas através do monóculo *Rangefinder* (Bushnell_laser_Rangefinder_Sport 850/202205).

Resumo dos capítulos

Apresentamos nas páginas a seguir o resumo dos dois capítulos e dois anexos (produtos indiretos da tese).

PRIMEIRO CAPÍTULO

Bird responses to Falconry activity reduces the risk for accidents involving bird strikes at a Brazilian Airport



Contextualização

Este capítulo aborda a eficiência do uso da falcoaria para diminuir acidentes aéreos em relação às três principais espécies de aves, o quero-quero (*Vanellus chilensis*), o carcará (*Caracara plancus*) e o pombo-picazuro (*Patagioenas picazuro*), que são responsáveis por 47% dos acidentes entre aeronaves e aves no Aeroporto Carlos Drummond Andrade em Minas Gerais. Também analisamos a influência do medo no aumento de risco de predação em relação ao tamanho da grama que representa a conspicuidade de alimento e de exposição da presa na mudança comportamental das três espécies.

SEGUNDO CAPÍTULO

Sensibilidade da assembléia de aves ao aumento de risco de predação em dois aeroportos brasileiros e consequências à segurança aeroportuária



Contextualização

Foram explorados conjuntos de dados coletados da comunidade de aves nos Aeroportos Carlos Drummond Andrade e Tancredo Neves, localizados em Belo Horizonte-MG e Confins-MG respectivamente. O foco deste estudo foi a assembléia de aves incluindo espécies com registro de colisões com aeronaves. Foi analisada a resposta das assembléias de aves destes dois aeroportos frente ao uso contínuo da Falcoaria. De início, sabemos que algumas espécies são responsáveis por acidentes aéreos nestes aeroportos (CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de acidentes aeronáuticos), e de acordo com Carvalho et al (2018) algumas são sensíveis à falcoaria e outras não. Portanto quais características das espécies estão associadas às respostas de risco de predação imposta pela falcoaria com *P. unicinctus*? Adicionalmente a isto quais estão associadas a colisões?

Com aumento de risco de predação conseguimos diminuir colisões?

Anexo I

Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros



Contextualização

De forma mais abrangente foi explorado conjuntos de dados disponíveis no Site CENIPA (Centro de investigação e prevenção de acidentes aéreos) referente ao registro de todas as colisões entre aves e aeronaves no país e algumas características específicas delas, tais como; espécies envolvidas, período de colisão, local danificado da aeronave e aeroporto de concorrência. O objetivo deste estudo é identificar os principais fatores associados à ocorrência de colisões entre aves e aeronaves nos dois aeroportos do sudeste do Brasil e propor princípios gerais de manejo visando reduzir os riscos de colisões.

Anexo II

A Comunidade de aves do Aeroporto Carlos Drummond Andrade/MG e suas Implicações para a Segurança Aeroportuária



Contextualização

Neste anexo II, foi explorado dados coletados da comunidade de aves presentes no aeroporto Carlos Drummond Andrade e identificado particularidades de sua comunidade e o uso da paisagem. Quais espécies são específicas das áreas operacionais, quais são das áreas perimetrais e quais utilizam as duas áreas. E as espécies mais perigosas, que estão envolvidas em acidentes aéreos e suas relações com estas duas áreas.



Agora apresentamos abaixo de forma integral os dois capítulos da tese, o primeiro em inglês atendendo à formatação exigida para o periódico científico no qual o artigo está submetido. O outro em português, já formatado para periódico científico de interesse necessitando apenas a tradução para o inglês. Ainda incluímos os dois anexos que são produtos indiretos da tese. O Anexo I e II são dois artigos publicados no volume da Revista Conexão SIPAER (RCS), é uma publicação científica eletronicamente editada com o apoio do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). O objetivo desta revista é promover informações técnico-científicas produzidas por pesquisadores e profissionais envolvidos com ciências aeronáuticas e outras áreas correlatas à segurança de voo. Adicionalmente outros produtos serão publicados referentes a banco de dados recolhidos durante os anos estudos da tese, como também poderão servir como banco de dados para outras teses e estudos que venham ser iniciados.

4 CAPÍTULO I

BIRD RESPONSES TO FALCONRY ACTIVITY REDUCES THE RISK FOR ACCIDENTS INVOLVING BIRD STRIKES AT A BRAZILIAN AIRPORT



Carlos Eduardo Alencar Carvalho; Ludmilla Figueiredo; Gabriel Fernandes; Ricardo Solar; Camila. P. Teixeira; José Eugênio Cortês Figueira

Artigo submetido ao periódico BASIC AND APPLIED ECOLOGY



Correspondence to: Carlos A. Carvalho
carlos.carvalho@biocev.net
+ 55 031 32935163/ +55031988460064
<https://orcid.org/0000-0003-0114-6207>

**Bird responses to Falconry activity reduces the risk for accidents involving
bird strikes at a Brazilian Airport**

C.A. Carvalho^{1,2,3,7}; L. Figueiredo⁴; G. Fernandes⁵; R. Solar¹, PHD; C. P.
Teixeira⁶, PHD; J.E.C. Figueira¹ PHD

¹ *ECMVS – Pós-Graduação de Ecologia, Conservação e manejo de vida Silvestre - ICB – Instituto de ciências Biológicas UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais - Brazil*

² *PRO-RAPTORS INSTITUT- Conservation, Science and Tradition - Minas Gerais, Brazil*

³ *ABFPAR – Brazilian Association of Falconry and Birds of Prey preservation*

⁴ *Department of Animal Ecology and Tropical Biology, Biocenter Ecosystem Modelling Group, Center for Computational and Theoretical Biology University of Würzburg.*

⁵ *INFRAERO-Brazilian Company of Airport Infrastructure*

⁶ *UNIFEMM -Centro Universitário de Sete Lagoas – MG -Brazil*

⁷ *BIOCEV –Smart Projects– MG - Brazil*



Word Count: 5493 words (main body) with 7 figures and 1 table

Article submitted to: ECMVS – Pós-Graduação de Ecologia, Conservação e manejo de vida Silvestre - ICB – Instituto de ciências Biológicas UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais - Brazil

Corresponding author: Carlos Eduardo Alencar Carvalho, MD, ECMVS – Pós-Graduação de Ecologia, Conservação e manejo de vida Silvestre - UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais - Brazil, PRO-RAPTORS INSTITUT- Conservation, Science and Tradition - Minas Gerais, Brazil, ABFPAR – Brazilian Association of Falconry and Birds of Prey preservation, BIOCEV –Smart Projects– MG - Brazil.

Tel.: +55-31-988460064, **Fax:** +55-31-32935163, **E-mail:** carlos.carvalho@biocev.net, **E-mail:** carloscarvalho.dms@gmail.com

Abstract

The air operation area (AOA) of airports attracts birds that use it for foraging, shelter and nesting sites. Therefore, collisions among airplanes and birds are common during landings and take-offs, their costs are high and sometimes they are lethal to humans. We used falconry with Harris's Hawks to reduce bird strikes in a Brazilian airport. Plots were established along the AOA, half were kept with falconry and half as control. For two years, we registered the densities of all bird species, and for the three species more involved in collisions, the Southern Lapwing, Picauro pigeon and Southern Caracara (three-hazard), also behaviors associated with calmness or fear, and grass height. Carcasses with signs of collisions were collected, and their search continued for one more year. These variables were compared among plots, using MANOVA, GLMM, Wilcoxon and Chi-square tests. The densities of near all species reduced in plots with falconry. For the three-hazard, foraging prevails when the grass was cut. However, the fear of being preyed reduced the

densities, increased the distances, reduced foraging and increased alertness in the lapwing and pigeon. The number of collisions was 3.45-fold lower with falconry. When considering the three-hazard, the reduction was 3.50-fold lower when the caracara was excluded from the analysis. The caracara is also a raptor, is larger than Harris's Hawk, and was not stressed by falconry, but rather by the difficulty of feeding. The 3.5-fold reduction in collision rates, the low rates of captures (0,75%), and accidental kills of birds (5,0%) by the Hawks indicate that falconry maybe an essentially non-lethal management strategy to reduce collisions in airports.

Keywords: Airport, landscape of fear; fauna control; Harris's Hawk; hazard species; stress ecology; Applied ecology; Predators;

Introduction

Collisions between animals and aircraft are increasingly common, and frequently result in financial losses and even aircraft crashes. Deer, foxes, and turtles have been involved in incidents at several airports throughout the world, but birds have contributed significantly to increased risks for civil and military aviation, especially when in high abundance at airports and in their surroundings (MacKinnon et al. 2004, Cleary & Dolbeer 2005, Mendonça 2009, Dolbeer et al. 2012). The risk of bird-caused crashes is particularly high at airports located in tropical regions since they are frequently located in regions with high bird diversity. Furthermore, airports tend to be close to dense human populations that produce significant amounts of trash that is disorderly disposed, thus attracting birds and making airport management challenging and complex (Sodhi, 2002). Globally, the annual cost resulting from collisions between aircraft and birds has reached US\$ 12 billion (Allan, 2000). In Brazil, the situation is alarming. According to collision records kept by CENIPA (Brazilian Center for Research and Prevention of Aeronautical Accidents), a total of US\$ 22,179,200.00 was lost between 2006 and 2010, and not all reports were complete. However, the most important losses are not financial, but that of human lives. It is estimated that collisions with birds have been responsible for the loss of at least 108 aircraft and 276 lives in civil aviation (Thorpe, 2012)



Airports are attractive for bird species that are adapted to grassland habitats because they are built in open spaces (Marateo et al. 2015). Grasslands surrounded by trees of different sizes and ages, together with dense urban populations, are environments that provide suitable resources for birds, such as sites for shelter, feeding, resting, sleeping, and nesting (Sodhi, 2002; Cleary & Dolbeer, 2005; Marateo et al. 2015).

Brazil possesses other attractors near airports near airports that can increase the risk of collisions, such as dumpsites, slaughterhouses, and poultry farms. These sites attract species such as the black vulture, *Coragyps atratus*, and the southern southern caracara, *Caracara plancus*, both of which are at the top of the Ranking of the Hazard Level of Wildlife Species to Aviation. In spite of Law N° 12.725 (October 16, 2012), which restricts most services that have potential to attract fauna from within 20 km of airports, there remain many irregularities that present risks for aviation, such as illegal dumpsites.

The severity of which varies depending on the biomass of the species involved and the speed of the aircraft. Risk is also related to the number of birds in the routes of aircraft, including takeoffs and landings (Cleary. *et al.*, 2000). The energy transmitted in a collision is equal to the product of bird biomass and aircraft speed squared, while bird speed is considered to be negligible (Martos & Madeira, 2016). The black vulture (*Coragyps atratus*) and the turkey vulture (*Cathartes aura*) are among the birds that cause the most risk to flight safety and cause the greatest damage to aircraft in the USA (Wright & Dolbeer, 2005). According to the Ranking of the Hazard Level of Wildlife Species to Aviation by CENIPA (Aeronautical Accidents Investigation and Prevention Center - Wildlife Hazard Management 2016), the greater yellow-headed vulture (*Cathartes melambrotus*) is responsible for the greatest risks to aviation in Brazil, followed by the magnificent frigatebird (*Fregatta magnificens*) and the black vulture (*Coragyps atratus*). However, these data do not consider regional (e.g., between biomes) and socioeconomic (e.g., size and sanitary conditions in the airport surroundings) differences (Carvalho et. al, 2015a). *Coragyps atratus*, which is attracted to dumpsites, is involved in most of the collisions recorded in the Northeast (Novaes & Alvarez, 2010) and North regions of Brazil, while accidents with *F. magnificens*, a marine bird species, are limited to airports located on the coast. Accidents involving *C. melambrotos*, a species endemic to the Amazon, are

limited to airports located in that region, while in Southeast Brazil, except for the coast, species such as *Vanellus chilensis* and *C. plancus* are most frequently involved in collisions (Guedes *et al.* 2010).

Falconry is a method of training raptors for subsistence hunting with an origin dating back to the Bronze Age (more than 4000 million years ago) to the present day and represents a perpetuation of an ancient sport and hunting tradition. This art that came to the 21st century and was identified by UNESCO as Cultural Heritage of Humanity on November 16, 2010. The use of falconry for fauna control at airports is grounded in predator-prey relationships, specifically the ecology of fear (Brown and Kotler, 2004). Thus, falconry acts on the instinctive fear of being preyed upon, which increases the proportion of alert animals and decreases animal densities (Kitowski, 2011). Falconry has proven to be an efficient method for scaring away birds at several airports in Europe (Kuzir and Muzinic, 1999; Cwiklak, et al. 2015), such as in Spain, the United Kingdom and Poland (eg.: Ericson et al. 1990; Chamorro and Clavero, 1994; Kitowski et al, 2011, Kitowski, 2014), as well as in North America (Larson et al. 1994; Civil Aviation Authority, 2014a). Studies have shown that the more fearful an animal is, the more alert it should be (Hunter and Skinner, 1998; Rushen, 2000; Laundré et al. 2001; Childress and Lung, 2003; Treves et al. 2003; Wolff & Van Horn, 2003; Halofsky and Ripple, 2008). According to Sirot (2007), the fate of each individual animal depends not only on how it reacts to danger, but also on the behavior of other members of the group. On the other hand, according to Sinclair et al. (2006), as prey density increases, more predators are attracted, survive and reproduce. These two factors, survival and fecundity, result in increased predator population sizes, which in turn leads to greater consumption of prey. However, the birds of prey used in falconry do not depend on capturing prey for survival; even when they have no capture success they are fed by falconers at the end of the day. On the other hand, anti-predator behavior, as studied by Brown and kotler (2001), would become frustrated as the predation risk at a given location becomes constant with no rest for prey.

In contrast to traditional falconry, in which capture success matters, the greatest benefit of falconry at airports is the frightening of other birds and scaring them away from areas surrounding runways, since intimidation affects the abundance of prey as much, or even



more, than actual kills (Lima and Bednekoff, 2011). But, according to Sirot (2007), fear stimulated by predator presence can be contagious, but only momentarily.

We recorded 93 bird species from the premises of the Carlos Drummond de Andrade Airport in Belo Horizonte, one of the busiest airport in terms of air traffic in the state of Minas Gerais and among the most important regional airports in Brazil (Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea 2016). Among the species recorded, the southern lapwing (*Vanellus chilensis*) and the Pica-zuro pigeon (*Patagioenas picazuro*) were the most abundant (Carvalho *et al.* 2016b). Both species, together with the southern caracara (*Caracara plancus*), have been involved in 48% of the collisions reported for this airport (CENIPA/Risco de Fauna 2016). These three species are also at the top of the list of birds involved in collisions recorded by the Brazilian Annual Wildlife Strike Summary for 2014 to 2015, with 45% of the cases. Thus, from here on we will refer to these species as the “three hazard species”.

Due to the risk that these three species represent for flight safety at Carlos Drummond de Andrade Airport, we chose them to be the subject of an experiment evaluating the efficiency of falconry as a risk management tool using Harris’s hawk (*Parabuteo unicinctus*). We predicted that increased predation risk will lead to a shift in the behavior of the three hazard species in the form of reduced foraging, increased alertness and reduced abundances. Furthermore, the extent that these behaviors manifest themselves should vary with the use of falconry, and take some time to cease, which underlies the concept of "operant conditioning" (Skinner, 1966). Consequently, we expected a decline in records of bird strikes at this airport due to the use of falconry.

Material and Methods

Study area

The study was carried out at the Carlos Drummond de Andrade Airport in Belo Horizonte, Minas Gerais, the 18th busiest air traffic airport in Brazil in 2016 (Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea 2016). With the growth of the city of Belo Horizonte, it became a central airport within the urban perimeter. The aerodrome is installed in an area

of approximately 2,000,000-m² in the region of Pampulha, 8-km away from downtown Belo Horizonte.

Within a 2.5 km radius centered in the middle of the airport runway there are several main attractives for aquatic as well as for open habitat birds: the Pampulha lake, two small forest/savanna fragments (the Lagoa do Nado Park with its small lake, and the Ecological Station of the Federal University of Minas Gerais), and the Pampulha stream parallel to the airport runway (Fig. 1).



Figure 1. Picture above from the airport and wildlife attractions nearby it.

Focal species

The southern lapwing, *V. chilensis*, has a generalist diet, is a highly adaptable, and is common in open environments. It is frequently found along rivers and in pastures and open areas (Sick, 1997), such as soccer fields and aerodromes. The interesting thing is that this is a common genus this in getting used to several airports in the world as is the case of its congenere northern lapwing (*Vanellus vanellus*) is a wader species commonly found on UK airfields (Bell, 1999).

At airports, physical barriers between the air operations area and the perimeter restrict the entrance of terrestrial predators that could attack the nests of this species, whereas lawns



provide food and sleeping sites. Hence, this species is attracted to airports and is the bird species most frequently involved in collisions with aircraft in Brazil (Barros, 2015); it has been involved in 33% of the accidents with wildlife at Carlos Drummond Andrade Airport.

The Picazuro pigeon, *P. picazuro*, is found throughout extra-Amazonian Brazil and is also very common in open environments, such as pastures and grasslands (Sick, 1997). Like the southern lapwing, this species also benefits from seeds and fruits found in lawns and the low density of terrestrial predators at airports. Although it is listed as ninth among bird species involved in collisions in Brazil, being involved in just 2.6% of air collisions (CENIPA / Fauna Risk 2016), it is the third most frequently involved bird species at Carlos Drummond Andrade Airport, accounting for 16% of the collisions over last two years and 9% over the last five years.

The southern caracara, *C. plancus*, is among the best-known birds of prey in Brazil and is also a predator of *V. chilensis* and *P. picazuro* (Vargas et al, 2007). It is very common in open environments and plantations and is considered synanthropic and an indicator of deforestation (Carvalho & Marini 2007). It is the second most frequently involved species in collisions with aircraft in Brazil. At Carlos Drummond Andrade Airport, the species was involved in 12% of the accidents over the past five years and 25% over the last two.

Falconry with *Parabuteo unicinctus*

Harris's hawk, *P. unicinctus*, is a bird of prey of the family Accipitridae and is widely used in modern falconry because of its ease in handling and training. Its natural diet includes mammals, birds, and reptiles, but has preference for birds. It is one of the most commonly used birds by falconers in Brazil, not only for the reasons just mentioned, but also because it is one of the few species licensed for sale in Brazil. The species is found from southwestern North America (southern California to Texas), through Mexico and Central America and into much of extra-Amazonian South America (Del Hoyo and Collar, 2014).

We performed falconry with eight individuals of *P. unicinctus* from 2014 to 2016, at four 150-m circular plots whose centers were spaced 300-m from one another (according to Sutherland *et al.* 2004 and Ralph *et al.* 1995, distances among sampling points should

exceed 200-m) along the 2.5-km lawn bordering the airport runway (experimental plots on the experimental half of the runway). Falconry was performed from 7:00 to 10:00 AM and from 3:30 to 5:30 PM (these periods were determined according to aeroportuary security rules and were also those with high bird densities). A second set of four 150-m circular plots bordering the other half of the runway were kept without falconry (control plots on the control half of the runway) (Fig. 2).



Figure 2. The experimental area with the use of falconry and the control area. At the beginning of the experiment, the falconry was used on one of the sides of the runway (divided by the green dashed line and identified as Sides 1 and 2). After that, we inverted the side where the falconry was used every two months (green arrows).

The six *P. uncinctus* were well trained to attack, but not kill, potential prey when commanded by the falconer. They were accustomed to the airport, they were well fed with commercialized domestic quail (*Coturnix coturnix japonica*) meat offered as reward during (small snacks) and after (a meal) sampling journeys, and they were released with the main objective of frighten the hazard species before landings or after takeoffs of airplanes. In any case, they immediately returned to the falconer upon any request by airport authorities. For safety reasons, individual *P. uncinctus* were radio-tracked. The falconers remained at the center of a plot for 15 min before moving to the next plot. Upon reaching the last plot the falconers returned to the first plot at a speed of 3-km/h. Therefore,



every day each plot was visited twice. Sampling followed a rotational regime among the plots, so that falconry began at a different plot every week. Falconry alternated between the two halves (experimental and control) of the runway every two months throughout the two years of the study. Birds eventually captured by *P. uncinatus* were examined, if wounded they were treated by a veterinary, and further released in conservation areas indicated by the Forestry State Institute, IEF, and the Brazilian Institute of Environment and Renewable Natural Resources, IBAMA. Every field and following procedures were done according to current Brazilian laws and animal welfare agencies when the project was approved.

Bird census and behavioral scans

Weekly census sampling by an ornithologist focused all species, but only for counts, and the three hazard species, for counts and behavioral scans. The censuses took place from 6:00 to 8:20 AM and from 3:30 to 5:50 PM and were performed for 15 min at the center of each of the same eight 150-m circular plots (Fig. 2). Movement from one plot to the next took 5 min. Each plot was visited eight times in the morning and eight times in the afternoon every month. The birds recorded in the plots were identified and counted using binoculars (Bushnell H2O 10x42), with their distance from the center of the plot being recorded with a monocular rangefinder (Bushnell rangefinder Scout DX 1000). At each minute of census sampling, one of four behavior categories were registered for each bird using scan sampling (Altmann, 1974; Lehner, 1992): i) foraging, ii) alertness, iii) local walks or small flights inside plots, and iv) dispersion from plots. According to Welp et al. (2004), fear may be measured by an animal's level of alertness, which reduces time for foraging (Brown and Kotler, 2004). Therefore, the abundances of the three hazard species, the proportion of time they remained alert, and their distances from the observer or falconer were used as indicative of stress level.

Collisions between aircrafts and birds

During the study, a careful search for bird carcasses was performed after each collision with an aircraft, and their location along the airport runway determined using a Garmin

eTrex 30x GPS unit. Thus, the number and species of birds involved in collisions was estimated, and the association between collisions and the use of falconry assessed.

Statistical analysis

Generalized linear mixed models (GLMM) (R package lme4, Bates et al. 2015), assuming spatial and temporal pseudoreplication, were used to compare the effects of falconry (fixed effect) on the abundances and distances from the falconer for the three hazard species within the plots (response variables), between experimental and control halves of the runway. Following Bates et al. (2017), the plots, were tested for random nested effects. The best fit of each of the two models was achieved by using a negative binomial distribution. The final models were subjected to residual analysis to eliminate random effects (Crawley, 2002).

In addition, probability density functions (PDF) associating the distances of the three hazard species from the falconer (experimental halves) or plot center (control halves) and their respective means, interquartile intervals, asymmetry and kurtosis were compared between experimental and control halves (R packages ggplot2, Wickham and Chang 2016). Differences in asymmetry and kurtosis are related to differences in the shapes of the distributions being compared (Balanda & MacGillivray, 1988; Joanes & Gill, 1998).

A repeated measures MANOVA (R package MANOVA.RM, Konietzschke et al. 2015) was used to evaluate the effects of falconry on the amount and proportion of time the three hazard species allocated to foraging, alertness, local walking and flights inside, and dispersion from, experimental and control plots. In this comparison, grass height (high vs low) was also considered. Chi-square tests were used to compare the proportions of the four different behaviors.

The Wilcoxon signed rank test (Crichton, 1998, R package exact Rank Tests, Hothorn and Hornik, 2017) was used to compare bird strikes involving all species as well as only the hazard species, between experimental and control halves of the runway. Due to small number of collisions, for this analysis we considered one more year of collisions data (from 2014 to 2016).

All analyses were carried out using R Statistical Software (R Development Core Team, 2015), with the exception of the Chi-square test, which was performed using Paleontological Statistics (Hammer et al. 2017).

Results

Variations in densities of all bird species in response to falconry

During the two years of study, we registered 93 species of birds in the air operation area, 22,080 individuals in the control halves of the runway, and 13,537 in the experimental halves where falconry were used. From these totals, the Harris's Hawks captured 101 individuals (or 0,75% of 13,537), and among them, five were Southern lapwing, but no individuals of Picazuro pigeon and Southern caracara were captured. On the other hand, six individuals were killed by the Hawks (or 5,9% of 101): one *Furnarius figulus*, three *Passer domesticus*, one *Rallus nigricans* and one Southern lapwing cub.

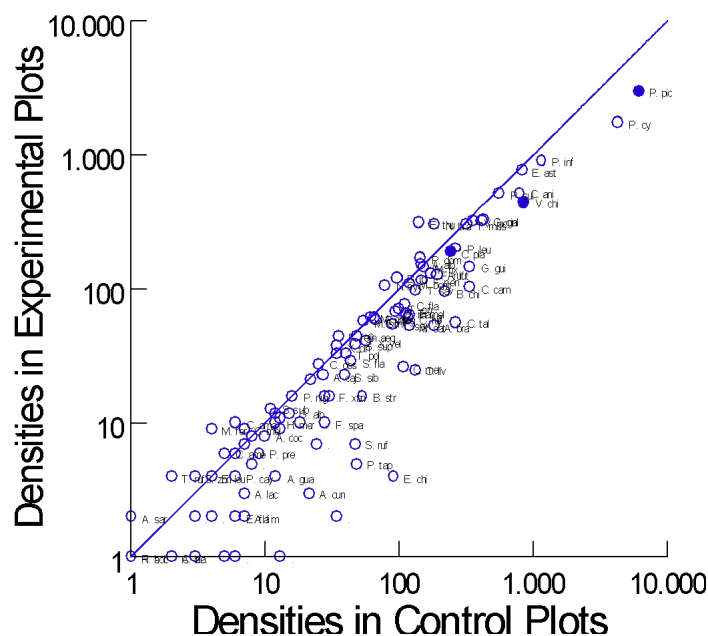


Figure 3. Cumulative counts of birds in experimental and control halves of the air operation area from 2014 to 2015. The line represent no difference between counts. Each bird species can be recognized by an acronym, and dark points indicate the three hazard species.

A Chi-square test for differences in the densities of birds in the experimental and control halves of the runway (Fig. 3) was highly significant (model: density = falconry + species;

falconry: $X^2 = 240.28$, $DF = 1$, $p < 0.0001$) indicating a general reduction in densities associated with falconry.

Behavioral responses of the three hazard species to falconry

For the three hazard species, the time spent alert, foraging, in displacement and in dispersion differed significantly between the experimental and control plots (MANOVA: $F = 43.53$, $DF = 8$, $p < 0.001$, Table 01), and there were no effects associated with the plots ($p > 0.05$).

For the control plots, grass height was found to be the determining factor for the behavioral frequencies of the three hazard species. Foraging was more frequent when the grass was cut (*V. chilensis*: $X^2 = 183.85$, $p < 0.001$; *P. picazuro*: $X^2 = 3423.78$, $p < 0.0001$; *C. plancus*: $X^2 = 527.44$, $p < 0.001$; Table 01).

Table 01. Chi-square tests of changes in frequencies of behaviors indicated by MANOVA. * = $p < 0.05$, ** =

	p	<	0.01,	***	=	p	<	0.001
Species	Falconry	Falconry	Falconry	Falconry	Falconry	Falconry	Control	
	high grass	high grass	high grass	high grass	low grass vs	low grass vs	high grass	
	vs falconry	vs	vs	vs	control high	control low	vs	
	low grass	control low	control high	control high	grass	grass	control low	
		grass	grass	grass			grass	
<i>V. chilensis</i>	2.91 NS	1147.90 ***	646.01 ***	548.96 ***	1012.60 ***	183.85 ***		
<i>P. picazuro</i>	272.63 ***	3773,40 ***	715.66 ***	735.64 ***	6810.50 ***	343.00 ***		
<i>C. plancus</i>	289.05 ***	571.19 ***	40.78 ***	359.52 ***	12.38 **	527.44 ***		

For *V. chilensis*, when falconry was used individuals exhibited predominantly alert behavior, independent of grass height ($X^2 = 2.909$, $p = 0.234$). In the control plots foraging predominated when the grass was cut, while alert and foraging were similar in proportion when the grass was uncut. Displacement and dispersion were negligible in all cases (Fig. 4).

For *P. picazuro*, alertness was more frequent when falconry was used, but also in the control plots when grass was high ($X^2 = 272.63$, $p < 0.001$). Foraging was more frequent

mainly in control plots when the grass was cut. On the other hand, with falconry and uncut grass, the proportion of individuals dispersing was higher compared to the other conditions (Fig. 5). For *C. plancus*, differences were found associated with grass height, but falconry had no effect. With uncut grass, foraging was less frequent than alertness ($X^2 = 40.78, p < 0.001$), whereas with cut grass foraging was more frequent than alertness ($X^2 = 12.377, p = 0.002$), both in experimental and control plots. Dispersion was observed for this species with uncut grass (Fig. 6).

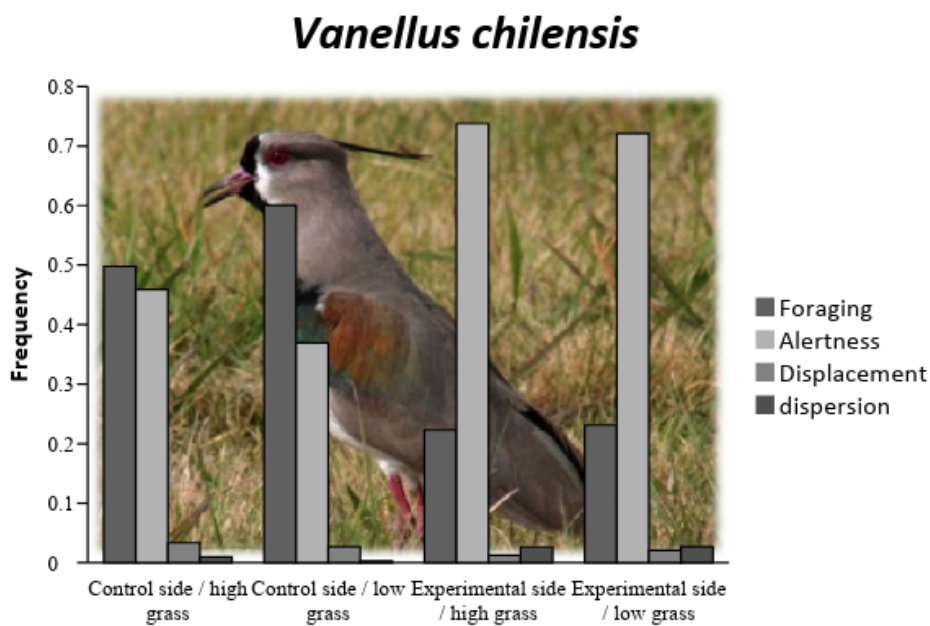


Figure 4. Cumulative bar plot of the behaviors of the *Vanellus chilensis* comparing sides with and without falconry and with high and low grass.

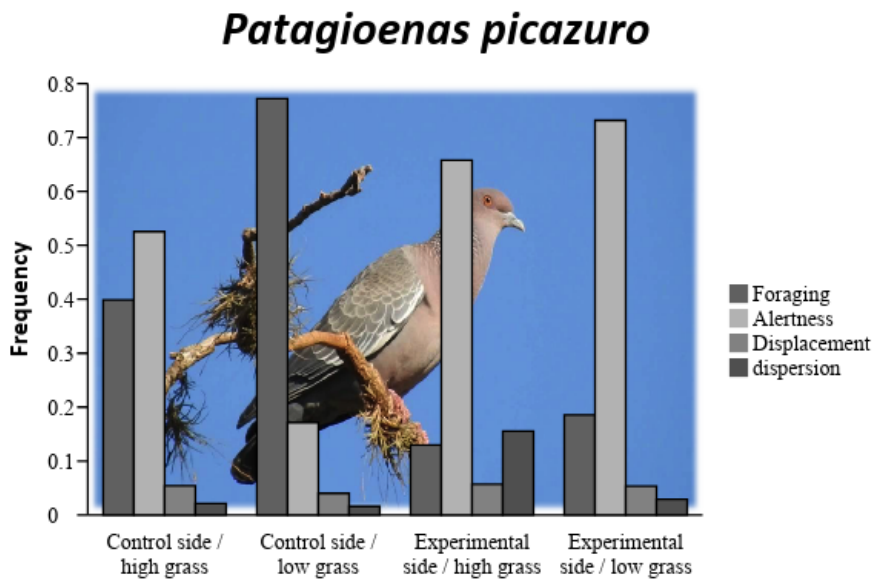


Figure 5. Cumulative bar plot of the behaviors of the *Patagioenas picazuro* comparing sides with and without falconry and with high and low grass.

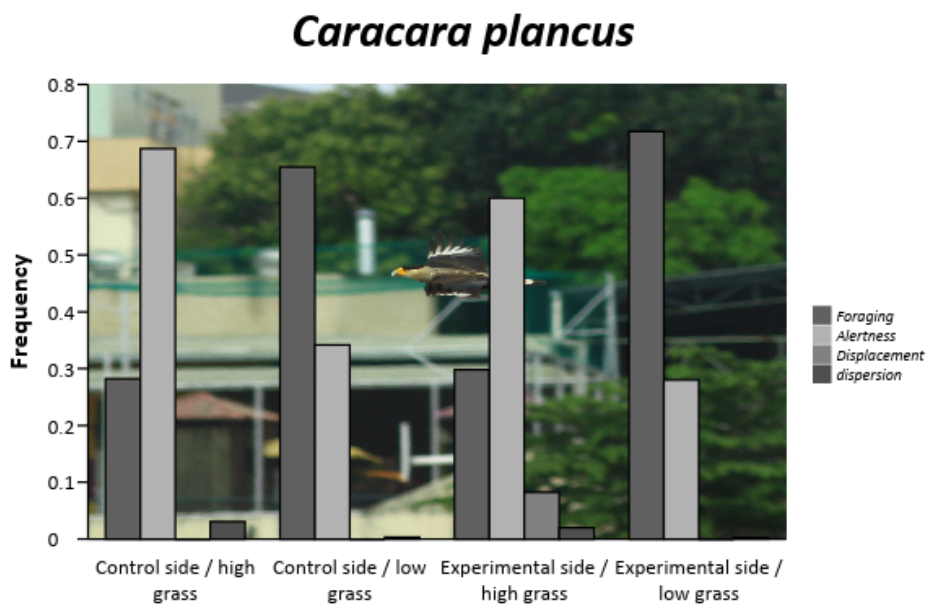


Figure 6. Cumulative bar plot of the behaviors of the *Caracara plancus* comparing sides with and without falconry and with high and low grass.

Distances of the three hazard species from the amostral plots

The average distances of the three hazard species to the center of the experimental plots were higher than the average distances from the center of the control plots. The average distances differed among species with plots having no influence (model: distance = falconry + species; falconry: $X^2 = 276.892$, $DF = 1$, $p < 0.0001$; species: $X^2 = 34.408$, $DF = 2$, $p < 0.0001$).

For *V. chilensis* the average distance from the center of the experimental plots was 107 m, while the distance from the center of the control plots was 70.6 m (a 1.5 times greater distance with falconer present - Wilcoxon test = 2.74, $n = 16$, $p = 0.006$). For *P. picazuro* the distances were 90 m and 50 m, respectively (a 1.8 times greater distance with falconer present - Wilcoxon test = 3.51, $n = 16$, $p = 0.0004$), while those for *C. plancus* were 76.3 m and 75.9 m, respectively (no increase - Wilcoxon test = 0.31, $n = 16$, $p = 0.756$) (Fig. 7).

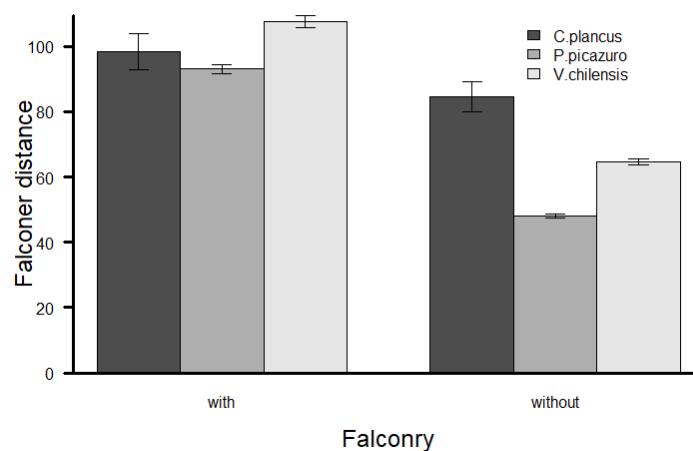


Figure 7. Bar plot of the distances of individuals of the three hazard bird species to the center of the plots.

These differences in average distance were reflected in the shapes of the probability density functions (Fig. 8).

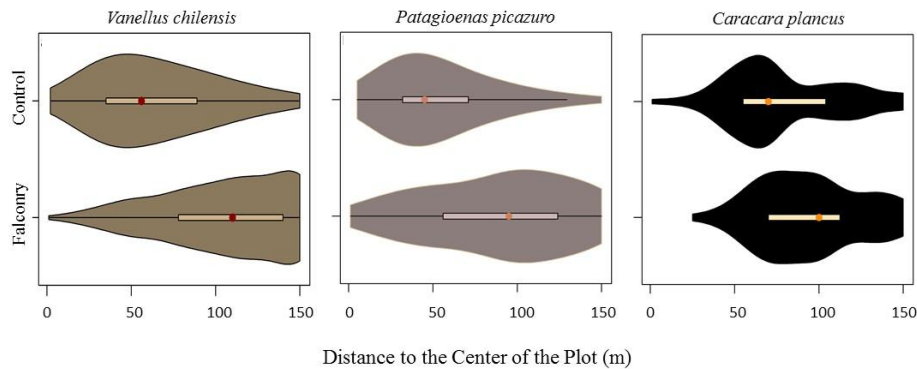


Figure 8. Violin plots of the distances of individuals of the three hazard species to the center of the plots with and without falconry. Besides the density function, the average and the interquartile interval are also shown, as well as the values for asymmetry and kurtosis for each species.

Population density

Falconry also reduced the density of the three hazard species, which differed among species with plots having no influence (model: density = falconry + species; falconry: $X^2 = 180.52$, DF = 1, $p < 0.0001$; species: $X^2 = 434.85$, DF = 2, $p < 0.0001$). Density was 64% lower in the experimental plots than in control plots for *V. chilensis* (from 1.70 to 0.62 individuals/plot; Wilcoxon test = 3.51, $n = 16$, $p = 0.0004$), 50% for *C. picazuro* (from 5.82 to 2.91 individuals/plot; Wilcoxon test = 3.36, $n = 16$, $p = 0.0007$), and 67% for *C. plancus* (from 1.4 to 0.46 individuals/plot; Wilcoxon test = 2.85, $n = 16$, $p = 0.004$) (Fig. 9).

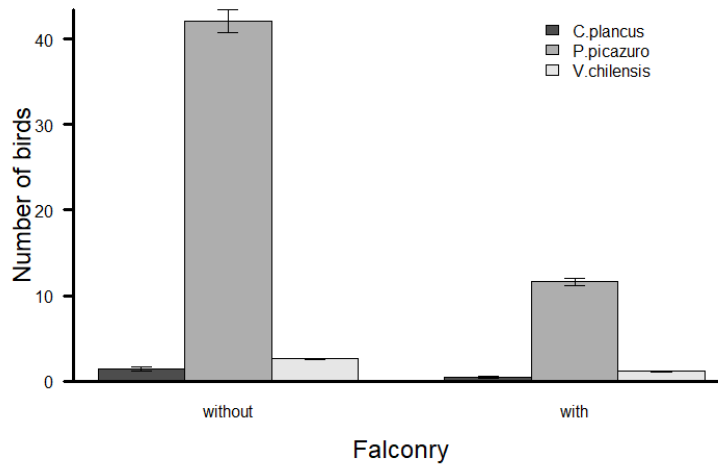


Figure 9. Bar plot of the number of individuals of the three hazard species of birds with and without falconry.

Collisions

A total of 51 bird-aircraft collisions were recorded in 2014, 2015 and 2016, with 14 in 2014, 22 in 2015 and 15 in 2016. Thirty nine collisions occurred within the control halves of the runway. Among these collisions, 30 involved the three hazard species assessed in the present study: 8 with *V. chilensis*, 11 with *P. picazuro*, and 11 with *C. plancus*. The other species involved were not highly represented among the collisions. The monthly average number of collisions of all species including the three hazard in experimental and control halves were 0.33/month and 1.08/month, respectively, or nearly 3.45-fold lower with falconry (Wilcoxon test = 2.994, $n = 36$, $p = 0.002$). Considering only the three hazard species, there was no significant difference in the number of collisions per month (Wilcoxon test = 91, $n = 36$, $p = 0.086$). However, when *C. plancus* (whose difference is not significant: Wilcoxon test = 16, $n = 36$, $p = 0.70$) is excluded from the analysis, there was a significant difference in collisions in experimental and control halves, respectively 0.38/month and 0.11/month, or nearly 3.50-fold lower (Wilcoxon test = 64.5, $n = 36$, $p = 0.047$).

Discussion

The experimental use of falconry with *P. unicinctus* for two to three years transformed the calm and safe landscape of the Carlos Drummond de Andrade Airport into a “landscape of fear”, according to Brown and Kotler (2001) and Laundré et al. (2010). The stress caused by these medium-sized hawks, including fear of being preyed upon by them, affected the density, spatial distribution and foraging behavior of at least two out of the three hazard species. Most importantly, however, there was a significant reduction in bird-aircraft collision rates.

For the control half of the runway, where falconry was not used, grass height was the determining factor of foraging frequency, density and distance of the three hazard species. When the grass was short or recently cut, the three hazard species were probably attracted by the more abundant, more conspicuous and/or more easily captured insects, spiders, small vertebrates, and grass seeds. On the other hand, the low frequency of birds exhibiting alertness or dispersal, and the shorter distances from the observer, suggest short grass is a more secure landscape, where vigilance and escape were not a priority. These behaviors contrasted with those observed when falconry was used. For *V. chilensis* and *P. picazuro*, the effects of falconry could be seen in the change of behavior from predominantly foraging to alertness, in the reduction in density, and in the greater distance from the falconer. These behavioral changes were also influenced by grass height, as alertness was more frequent when the grass was high, thus making visual perception of potential predators more difficult. In such situations the success of a predator may depend on surprising prey, which is more difficult with increased frequency of individual vigilance or group vigilance (Cresswell et al., 2003, Cresswell & Quinn, 2011). Together, increased alertness, reduced density and increased distance can be interpreted, according to Brown and Kotler (2004), Caro (2005) and Clinchy et al., (2013), as fear of being preyed upon, and have value as strategies for reducing risk of being predated. Alertness may be the most energetically economic strategy considering the risks of being preyed upon since other behavioral responses, like escape, have high caloric costs (Blumstein, 2016, Megan et al. 2016). Besides, alertness also reduces the chances of unpredictable escape attempts that could result in higher risks of predation or in collisions with aircrafts (Lima et al. 2015).



The behavioral changes observed with *V. chilensis* and *P. picazuro* probably aid to improve their own security, as well as that of the airport, by reducing the frequency of late escape attempts by inattentive individuals landing on the runway, which could result in collisions.

However, there are negative aspects of these induced behavioral changes. According to Martin (2011) and Cresswell (2008), reduced foraging activity may result in chronic undernourishment, which can affect reproduction and even survival. Unlike *P. picazuro* and *C. plancus*, which use the AOA of the airport only for foraging, *V. chilensis* is a resident and uses the area as a roosting site and for reproduction (Carvalho et al. 2016), leaving this species more prone to these negative effects.

When falconry is implemented, *P. picazuro* flies and leaves the foraging area more often when the grass is high. Since these birds are granivorous, this behavior probably reflects the safer decision since the low seed availability, their main food resource, would not compensate for any risk of predation, corroborating Quinn et al. (2008).

Caracara plancus are predators with a generalist diet and an opportunistic feeding behavior (Travaini et al. 2001). They also benefit from cutting of the grass because it facilitates the location and capture of prey, including the detection of dead animals, bird nests and other resources. In these situations foraging behavior prevails, although individuals of *C. plancus* remain alert, even when there is no falconry being practiced. On the other hand, high grass causes alertness to predominate over foraging, and displacement and dispersion become more frequent. Thus, *C. plancus* does not appear to be stressed by the presence of *P. unicinctus*, but rather by the difficulty of feeding. This result was partially expected since *C. plancus* is also a predator, and is bigger than *P. unicinctus* (900 g to 1600 g vs 600 g to 900 g, respectively). Kitowski et al. (2011) and MacKinnon et al. (2004) state that falconry is not efficient if the predator is smaller or of a comparable size to that of the prey species, and suggest that falconry must be considered a primary control method only for species that respond to the raptor as prey, which does not seem to apply to *P. unicinctus* and *C. plancus*. This result reinforces Baxter and Allan (2006) and Sirot (2007), who highlight the need to use a variety of raptors, sometimes in combination with other methods, to deal with different hazard species.

Associated with the higher alert level, the greater distance of *V. chilensis* and *P. picazuro* from the falconer provides these birds with more time to detect the hawks and to evaluate the best escape tactic. However, the distances of the two species differ, corroborating Janosov et al. (2017). According to these authors, prey has specific escape distances (usually a few hundred meters), within which they evaluate potential predators and determine the direction and strategy of escape. In this context, the identity of predators (Chalcraft and Resetarits 2003; Henry et al., 2010) and their modes of hunting (Woodcock & Heard 2011) should also be considered for efficient wildlife risk management. Cresswell & Quinn (2013) observed that redshanks (*Tringa totanus*) respond differently to attacks of Peregrine falcons (*Falco peregrinus*) and sparrowhawk (*Accipiter nisus*) and have different safety distances for each of these predators.

The behavioral changes observed for *V. chilensis* and *P. picazuro* suggest operant conditioning (Skinner, 1966), through the systematic use of falconry to reinforce fear. The presence of *P. uncinatus* generated stimulus pairing: positive punishment, represented by the presence of a predator, and negative punishment, represented by the restriction of their feeding behavior. However, the response of both species to these punishments does not seem to be enough to keep them away from the runway when falconry ceases. The AOA lawn may be one of the only sources of food and perhaps the largest for the animals in the area and therefore acts as a positive reinforcement when compared to other punishments. Thus, birds learn to avoid AOAs during the use of falconry, but seem to return immediately with the absence of practice.

Reductions in the densities of the three hazard species due to falconry help to increase airport security, but the motives that led to this differed for three species. *Vanellus chilensis* is a resident of the area and establish feeding and breeding territories along the runway. Reductions in their density clearly suggest that they seek safety by distancing themselves from the falconers and being less active in search for food and territorial defense. *Patagioenas picazuro* possible nests in trees within or near the airport area and can travel easily over large distances in small groups or in isolation. Because it does not establish territories along the runway, and only use it for feeding, it is a more flexible species than *V. chilensis*. In the case of *C. plancus*, because they are not residents of the AOAs and because they are large birds of prey, they require large areas to live and



therefore travel long distances beyond the airport. To our surprise, there was a reduction in their density in the experimental half of the area that had falconry, although there were no measurable alterations in feeding and alertness behaviors or in the distance from the falconer suggestive of fear of being attacked by *P. unicinctus*. Thus, we might assume that somehow falconry with *P. unicinctus* made the environment around the runway less attractive. Accordingly, *C. plancus* was observed predated eggs and chicks of *V. chilensis*, who experienced decreased densities with falconry.

Since the implementation of daily falconry, the risk of collisions at Carlos Drummond de Andrade Airport decreased 3.45-fold when all species of birds, including the three hazard species, were considered. Although this reduction does not appear profound, we did not have access to expenditures for the repair of aircrafts nor the amount of time they remained inoperable and, consequently, not generating potential profits for the owners or companies. However, the costs of collisions between aircrafts and birds during landings and takeoffs in Brazilian airports varied from 2.3 thousand US dollars to 8.0 million US dollars (total loss of a Mirage III), with more usual values in the order of hundreds of thousand dollars (Oliveira et al. 2017). Thus, a single collision may cost in one or several years of falconry, estimated in 155 thousand US dollars in 2016. Besides, it is worth to remember that the 3.45-fold reduction of bird-strikes was relative to the use of falconry during five hours/day in half of the airport runway.

Conclusions

Evidence from this and other studies (e.g. Atuo and O'Connell 2017, Cresswell 2010, Thaker et al. 2011) indicate that the use of falconry induces anti-predation behavior in resident or visiting birds, thus contributing to safety during aircraft takeoffs and landings. However, the effectiveness of this method depends on its intense and continuous use, constantly reinforcing the risk of predation and, therefore, a landscape of fear. In addition, regions with high faunistic biodiversity present an additional challenge, since airport bird assemblages can be very diverse with species that respond differently to falconry, including not exhibiting fear. Such situations will require the use of different species of raptors in combination with dogs, in special the management of the marginal vegetation of the runway or planting species that are less attractive to the fauna with regard to



provisioning shelter and food. This opens an important line of investigation, including the search for or development of varieties of small-sized and/or slow-growth essentially clonal grasses.

As far as we know, this may be the first experimental study evaluating the independent impact of falconry, although associated with grass height, on the behavior of some bird species frequently involved in collisions with aircrafts, and one of the very few estimating changes in collision rates.

Acknowledgments

We thank the staff of Infraero, who made the present study possible, in particular a Gerson Evangelista and PHD Frederico Neves for their constant support. We also thank the technicians of the company Biocev, who took part in data collection: Rodrigo Guimarães Armond, Jaime Guimarães de Oliveira Martins, Warley Bruce dos Reis Xavier, Affonso Souza, and Ricardo Greco Vitorino.

References

- Allan JR (2000) The costs of bird strikes and bird strike prevention. *Human Conflicts with Wildlife: Economic Considerations* 18: 147-153. Available in <http://digitalcommons.unl.edu/nwrchumanconflicts/18/>
- Altmann J (1974) Observational study of behavior: Sampling methods. *Behavior* 49: 227-267
- Atuo FA, O'Connell TJ (2017) The landscape of fear as an emergent property of heterogeneity: Contrasting patterns of predation risk in grassland ecosystems. *Ecology and Evolution* 7: 4782–4793
- Balanda KP, Macgillivray HL (1998) Kurtosis: A Critical Review. [The American Statistician](#) 42: 111-119
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67: 01-48.



- Bates D (2017) MixedModels.jl: A Julia package for fitting (statistical) mixed-effects models. original-date: 2013-03-29T21:24:25Z
- Baxter AT, Allan JR (2006) Use of Raptors to Reduce Scavenging Bird Numbers at Landfill Sites. *Wildlife Society Bulletin* 34:1163-1168
- Bell JC (1999) The effects of changes in northern lapwing population on the bird strike hazard in the UK (1999). Bird Strike Committee-USA/Canada, First Joint Annual Meeting, Vancouver, BC Canada
- Blumstein DT (2016) Habituation and sensitization: New thoughts about old ideas. *Animal Behaviour* 120: 255-262
- Brown JS, Kotler BP (2004) Hazardous duty pay and the foraging cost of predation. *Ecology Letters* 7: 999-1014
- Brown JS, Kotler BP (2001) Ecology of Fear: foraging games between predators and prey with pulsed resources. *Annales Zoologici Fennici* 38:71-87.
- Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DF (2001) Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations. Oxford University Press, New York
- Caro TM (2005) Antipredator Defenses in Birds and Mammals. University of Chicago Press, Chicago, USA
- Carvalho CEA, Marini MÂ (2007) Distributional patterns of raptors in open and forested habitats in Southeast Brazil and effects of urbanisation. *Bird Conservation International* 17: 367-380
- Carvalho CEA, Figueiredo L, Figueira JEC, Fernandes GF, Grecco RV, Souza AHN (2016a) Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros. *Revista Conexão SIPAER* 1:47-67



- Carvalho CEA, Figueiredo L, Teixeira CP, Figueira JEC, Dos Anjos L (2016b) A Comunidade de aves do Aeroporto Carlos Drummond Andrade/MG e suas Implicações para a Segurança Aeroportuária. *Revista Conexão SIPAER* 1:47-67
- Chalcraft DR, Resetarits WJ (2003) Predator identity and ecological impacts: functional redundancy or functional diversity. *Ecology* 84:2407–2418
- Chamorro M, Clavero J (1994) Falconry for bird control on airdromes. *Bird Strike Committee Europe* 22:397-407
- Childress MJ, Lung MA (2003) Predation risk, gender and the group size effect: does elk vigilance depend upon the behavior of conspecifics? *Animal Behavior* 66: 389-398
- Civil Aviation Authority (2014a) CAP 772 Wildlife Hazard Management at Aerodromes. UK Civil Aviation Authority, London - England
- Clinchy M, Sheriff MJ, Zanette Ly (2013) Predator-induced stress and ecology of fear. *Functional Ecology* 27:56-65
- Cleary EC, Wright SE, Dolbeer RA (2000) Wildlife strikes to civilian aircraft in the United States 1990-1999. Federal Aviation Administration, Washington, DC, USA
- Cleary EC, Dolbeer RA (2005) Wildlife Hazard Management at Airports, a manual for airport operators. Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, DC USA
- Crawley, M. J. (2002) *Statistical Computing. An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. Wiley. Chichester, England, UK.
- Cresswell W, Quinn JL (2013) Contrasting risks from different predators change the overall nonlethal effects of predation risk. *Behavioral Ecology* 24: 871–876
- Cresswell W, Quinn JL (2011) Predicting the optimal prey group size from predator hunting behavior. *Journal of Animal Ecology* 80: 310–319



- Cresswell W (2010) Empirical studies of predator and prey behaviour. in MD Breed & J Moore (eds) *The Encyclopedia of Animal Behaviour*. Elsevier
- Cresswell W (2008) Non-lethal effects of predation in birds. *Ibis* 150: 3–17
- Cresswell W, Quinn JL, Whittingham MJ, Butler S (2003) Good foragers can also be good at detecting predators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270:1069-1076
- Crichton NJ (1998) Statistical considerations in design and analysis. In: Roe, B. , Webb, C. *Research and Development in Clinical Nursing Practice*. London: Whurr
- Cwiklak J, Grzegorzewski M, Adamski M (2015) Threats and Preventive Methods to Avoid Bird Strikes at the Deblin Military Airfield, Poland. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 9:12-16
- Del Hoyo J, Collar NJ (2014) *Illustrated Checklist of the Birds of the World. Volume 1 (non-passerines)*. Lynx Edicions, Barcelona & BirdLife International, Cambridge
- Dolbeer RA, Wright SE, John Weller J, Begier, MJ (2012) *Wildlife Strikes to Civil aircraft in the United States 1990-2010. Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990-2010. Serial Report No. 17. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, DC, USA.*
- Ericson WA, Marsh RE Salmon TP (1990) A review of falconry as bird-hazing technique. *Proceedings of 14th Vertebrate Pest Conference, Davis, USA* 1:314-316
- Guedes FL, Brand DH, Linhares BP, De Paiva LV (2010) Avifauna Relacionada ao Risco de Colisões Aéreas no Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Conexão SIPAER* 2: 230-243
- Halofsky JS, Ripple WJ (2008) Fine-scale predation risk on elk after wolf reintroduction in Yellowstone National Park, USA. *Oecologia* 155: 869-877



- Hammer O, Harper D, Ryan P (2001) PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4:1-9
- Henry LM, Bannerman JA, Gillespie DR, Roitberg BD (2010) Predator identity and the nature and strength of food web interactions. *Journal of Animal Ecology* 79:1164–1171
- Hunter LTB, Skinner JD (1998) Vigilance behavior in African ungulates: the role of predation pressure. *Behavior* 135:195-211
- Janosov M, Virágh C, Vásárhelyi G, Vicsek T (2017) Group chasing tactics: how to catch a faster prey. *New Journal of Physics* 19: 01-16
- Joanes DN, Gill CA (1998) Comparing measures of sample skewness and kurtosis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D* 47: 183-189
- Kitowski I (2014) The response of Eurasian kestrel *Falco tinnunculus* to falconry at Deblin Military Airfield, East Poland. *Turkish Journal of Zoology* 38:298-305
- Kitowski I (2011) Civil and Military Birdstrikes in Europe: An Ornithological Approach. *Journal of applied Sciences* 2: 183-191
- Kitowski I, Grzywaczewski G, Cwiklak J, Grzegorzewski M, Krop S (2011) Falconer activities as a bird dispersal tool at Deblin Airfield (E Poland). *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16: 82-86
- Konietschke F, Bathke AC, Harrar SW, Pauly M (2015) Parametric and nonparametric bootstrap methods for general MANOVA. *Journal of Multivariate Analysis* 140:291-301
- Kuzir S, Muzinic J (1999) Birds and air traffic safety on Zagreb airport *Environmentalist* 18:231-237
- Larson VL, Rowe SP, Breininger DR (1994) A review of falconry as a bird control technique with recommendations for use at the shuttle landing facility, John F. Kennedy Space Center, Florida, USA.



- Laundré JW, Hernandez L, Riple WJ (2010) The Landscape of Fear: Ecological Implication of being Afraid. *The Open Ecology Journal* 3:1–7
- Laundré JW, Hernández L, Altendorf KB (2001) Wolves, elk, and bison: reestablishing the “landscape of fear” in Yellowstone National Park, USA. *Canadian Journal of Zoology* 79: 1401-1409
- Lehner PN (1992) Sampling methods in behavior research. *Poultry Science* 71:643-649
- Lee JM, Hwang K (2013) Minimal Safe Distance of Prey for Predator. *Advanced Science and Technology Letters* 43: 123-126
- Lima SL, Blackwell BF, DeVault TL, Fernandez-Juricic E (2015) Animal reactions to oncoming vehicles: a conceptual review. *Biological Reviews* 90:60–76
- Lima SL, Dill LM (1990) Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology* 68: 619-640
- Lima SL, Bednekoff PA (2011) On the perception of predator targeting during attacks on socially feeding birds. *Animal Behavior* 82:535-542
- Lüdecke D (2017) sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science. R package version 2.3.1, <https://CRAN.R-project.org/package=sjPlot>
- MacKinnon B, Sowden R, Russell K, Dudley S (2004) *Sharing the Skies: An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards*. Transport Canada, Aerodrome Safety Branch, Publication TP 13549, Ottawa, Ontario
- Marateo G, Grilli P, Bouzas N, Ferretti V, Juarez M, Soave GE (2015) Habitat by use in Airports: A Case and Its Implications for Bird Management in South American Airports. *Applied Ecology and Environmental Research* 13:799-808
- Martin TE (2011) The cost of fear. *Science* 334:1353-1354



- Martos JFA and Madeira F (2013) Análise das Medidas de Controle do Perigo Aviário. Em: 6º Simpósio de Segurança de Voo (SSV 2013): 1000-1014
- Megan AO, Swaisgood R, Blumstein D (2016) Contextual influences on animal decision-making: Significance for behaviour-based wildlife conservation and management. *Integrative Zoology* 12:32-38
- Mendonça FAC (2009) Gerenciamento do Perigo Aviário em Aeroportos. *Revista Conexão SIPAER* 1:153-174
- Novaes WG, Alvarez MRDV (2010) O Perigo aviário em aeroportos do nordeste do Brasil: Análise das colisões entre aves e aviões entre os anos de 1985 e 2009. *Revista Conexão SIPAER* 1: 47-67
- Oliveira HRB, Silva JP, Santos LCB, Novaes WG (2017) Colisões com fauna significativas registradas no Brasil até dezembro 2016. *Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos*
- Quinn JL, Cresswell W (2012) Local prey vulnerability increases with multiple attacks by a predator. *Oikos* 121:1328–1334
- Quinn JL, Cresswell W (2004) Predator hunting behaviour and prey vulnerability. *Journal of Animal Ecology* 73: 143–154
- Ralph CJ, Sauer JR, Droege S (1995) Monitoring Bird Populations by Point Counts. www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/wild/gtr149/gtr_149.html
- Rosenstock SS, Anderson DR, Giesen, KM, Leukering, T, Carter, MF (2002) Landbird counting techniques: Currents practices and an alternative. *Auk*, 119: 46-56
- Rushen J (2000) Some issues in the interpretation of behavioural responses to stress. In: Moberg GP, Mench JA, Eds. *The Biology of Animal Stress Basic Principals and Implications for Animal Welfare*. Oxon, UK, CABI Publishing



- Sauer JR, Hines JE, Fallon J *et al.* (2001). The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966-2000. Version 2001.2 USGS Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, MD
- Sick H (1997) Ornitologia Brasileira. Nova Fronteira, São Paulo, Brasil
- Sinclair ARE, Fryxell JM, Caughley G (2006) Predation in Wildlife Ecology, Conservation and Management. Blackwell Scientific Publications, Malden, USA
- Sirot E (2007) Game theory and the evolution of fearfulness in wild bird. *Journal of Evolutionary Biology* 20:1809–1814
- Skinner BF (1966) What is the experimental analysis of behavior? [Journal of the Experimental Analysis of Behavior](#) 9:213–218
- Sodhi NS (2002) Competition in the air: Birds versus Aircraft. *The Auk* 119: 587–595
- Sutherland, WJ, Newton I, Green R.E (2004) Bird ecology and conservation: a handbook of techniques. Oxford: Oxford University Press.
- Thaker M, Vanak AT, Owen CR, Ogden MB, Niemann SM, Slotow R (2011) Minimizing predation risk in a landscape of multiple predators: Effects on the spatial distribution of African ungulates. *Ecology* 92: 398–407
- Thorpe J (2012) 100 Years of Fatalities and Destroyed Civil Aircraft due to Bird Strikes. 30th Meeting of the International Bird Strike Conference, Stavanger, Norway
- Travaini A, Donazar JA, Ceballos O, Hiraldo F (2001) Food habits of the Crested Caracara (*Caracara plancus*) in the Andean Patagonia: the role of breeding constraints *Journal of Arid Environments* 48: 211–219
- Treves A, Drescher A, Snowdon CT (2003) Maternal watchfulness in black howler monkeys (*Alouatta pigra*). *Ethology* 109: 135-147



- Vargas RJ, Bo MS, FAVERO M (2007) Diet of the Southern Caracara (*Caracara plancus*) in Mar Chiquita Reserve, Southern Argentina. *Journal of Raptor Research* 41:113–121
- Welp T, Rushen J, Kramer DL, Festa-Bianchet M, De Passillé A (2004) Vigilance as a measure of fear in dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 87:1-13
- Wickham H, Chang W (2016) Create Elegant Data Visualizations Using the Grammar of Graphics - Package ‘ggplot2’
- Wolff JO, Van Horn T (2003) Vigilance and foraging patterns of American elk during the rut in habitats with and without predators. *Canadian Journal of Zoology* 81:266-271
- Woodcock BA, Heard MS (2011) Disentangling the effects of predator hunting mode and habitat domain on the top-down control of insect herbivores. *Journal of Animal Ecology* 80:495–503
- Wright SE, Dolbeer RA (2005) Percentage of wildlife strikes reported and species identified under a voluntary system. in *Proceedings of Bird Strike Committee USA/Canada meeting, Vancouver, B.C., Canada*

6 CAPÍTULO II

Sensibilidade da assembléia de aves ao aumento de risco de predação em dois aeroportos brasileiros e consequências à segurança aeroportuária



Carlos Eduardo Alencar Carvalho, José Eugênio Côrtes Figueira, Camila Palhares
Teixeira, Ricardo Ribeiro Castro Solar & Ludmilla Figueiredo



Correspondence to: Carlos A. Carvalho

carlos.carvalho@biocev.net

+ 55 031 32935163/ +55031988460064

<https://orcid.org/0000-0003-0114-6207>

Sensibilidade da assembléia de aves ao aumento de risco de predação em dois aeroportos brasileiros e consequências à segurança aeroportuária

Carlos Eduardo A. Carvalho ^{a,b,c}, José Eugênio C. Figueira ^{ab}, Camila P. Teixeira ^e, Ricardo R. Solar ^{a,b} Ludmilla Figueiredo ^d,

^a *UFMG - Departamento de Biologia Geral (ICB), Belo Horizonte - MG, Brazil*

^b *ECMVS – Pós-Graduação de Ecologia, Conservação e manejo de vida Silvestre - ICB – Instituto de ciências Biológicas*

^c *Instituto Pro-Raptors - Conservação, Ciência e Tradição - Minas Gerais, Brasil*

^d *Department of Animal Ecology and Tropical Biology, Biocenter Ecosystem Modelling Group, Center for Computational and Theoretical Biology University of Würzburg.*

^e *UNIFEMM -Centro Universitário de Sete Lagoas – MG, Brasil*

Keywords: Birdstrike; Fear ecology; *Parabuteo unicinctus*; Bird assemblages, Falconry; Bird responsiveness.

Resumo

O risco de predação é responsável por mudanças comportamentais e numéricas de presas em potencial expostas a um predador, sendo esta a base do conceito de paisagem do medo (PDM). Dessa forma o uso frequente de falcoaria em aeroportos pode diminuir o número de aves e também colisões com aeronaves. Entretanto, os efeitos da falcoaria não foram



avaliados isoladamente de outros métodos de controle de fauna nos aeroportos. Nós investigamos como as assembleias de aves reagem ao risco de predação imposto pela falcoaria com o gavião-asa-de telha (*Parabuteo unicinctus*) em dois aeroportos do sudeste do Brasil, o aeroporto Carlos Drummond Andrade (ACDA) e o aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN). Para isso as áreas operacionais dos dois aeroportos foram divididas em duas metades, uma com falcoaria (experimental) e outra sem falcoaria (controle). O experimento durou três anos no ACDA e dois no AITN. O NMDS mostrou a modificação da composição do ACDA com uso da falcoaria, enquanto no AITN as composições se sobrepõem. No entanto a falcoaria reduz 1,3 e 1,25 vezes as riquezas e 1,57 e 1,42 vezes as abundâncias da maioria das espécies de aves nos dois aeroportos respectivamente. A regressão logística mostrou que as aves mais afetadas com falcoaria são as mais abundantes, independentes do peso e tamanho. Porém nos mostra também que apesar da sensibilidade das espécies mais abundantes à falcoaria, quanto mais abundantes menos sensíveis elas são. Isto pode estar associado à comportamentos anti-predação como “a maior vigilância” e o “efeito manada”. Também confirmamos que as mais abundantes são as que mais colidem com aeronaves. Assim o uso frequente da falcoaria levou a uma redução de 3 vezes as colisões no ACDA e 1,2 vezes no AITN.

Introdução

Colisões entre animais e aeronaves estão cada vez mais comuns, principalmente devido à expansão do transporte aeroviário (Carvalho, 2018 comunicação pessoal). Acidentes envolvendo aves e aeronaves causam perdas financeiras substanciais para a indústria da aviação (Allan 2000) e, em alguns casos, podem inclusive causar perdas de vidas humanas (Thorpe 1996). Em países da Europa, um número significativo de colisões é causado por aves (Murar, 1994a; Jacoby, 1998; Krupka, 2000; Breuer, 2005). De acordo com Carvalho (2018, comunicação pessoal), os riscos de colisão entre aeronaves e aves em aeroportos podem ser reduzidos com o uso contínuo da falcoaria.

A falcoaria, apesar de ser uma técnica ancestral de treinamento de rapinantes desenvolvida para a caça de subsistência, (UNESCO, 2011) atualmente é a base do controle e manejo de fauna em certos aeroportos do Brasil (Carvalho, 2016b), da Espanha (Chamorro e Clavero 1994), do Reino Unido (Ericson et al 1990), da Polônia (Kitowski et al. 2011, Kitowski

2014) e também em outros países da Europa (Kuzir e Muzinic 1999; Cwiklak et al. 2015) e América do Norte (Larson et al 1994; Cleary and Dolbeer 2005; Civil Aviation Authority 2014a; Ackert 2018). O uso da falcoaria em aeroportos é, por muitas vezes, limitada pelos gastos financeiros utilizados na manutenção das aves e remuneração de profissionais especializados (DeVault et al 2013).

O princípio do uso contínuo da falcoaria em programas de manejo de fauna em aeroportos é denominado paisagem do medo (PDM), que corresponde ao medo das espécies de serem predadas. O “risco de predação” e o “medo” são conceitos bem estabelecidos na literatura sobre comportamento animal e formam a base da teoria da paisagem do medo (PDM). A PDM representa níveis relativos de risco de predação que se diferenciam de acordo com o ambiente e predadores, determinando a intensidade do medo que uma presa experimenta em diferentes partes de sua área de vida (Laundré *et al.* 2010).

De acordo com Carvalho et al. (2018, comunicação pessoal) a falcoaria pode transformar uma paisagem tranquila como a dos aeroportos em PDM e este seria um ambiente tão estressante que alteraria o comportamento das possíveis presas presentes. O direcionamento da PDM às espécies que oferecem maiores riscos à aviação pode alterar o comportamento/presença/abundância destes táxons, reduzindo as chances de colisão entre aves e aeronaves. Apesar de descrita na literatura, a aplicação da PDM no manejo de fauna ainda é rara (Bleicher, 2017).

Entre os grupos de animais que causam insegurança nos aeroportos, notadamente as aves são os mais perigosos, pela dificuldade de controle e de se impor barreiras físicas (Carvalho *et al.* 2016b; Dolbeer 2012; Soldatini *et al.* 2010). De acordo com Thorpe (2012), no período de 2006 a 2008, registramos 108 colisões entre aves e aeronaves que resultaram em perda total das aeronaves e, conseqüentemente, 276 mortes de pessoas na Europa Central.

Em relação às espécies de aves as de maior biomassa e aquelas de comportamento gregário são as consideradas de alto potencial para maiores danos (DeVault *et al.* 2013). De acordo com Dolbeer *et al.* (2016) o somatório das duas características pode ser mortal, como no caso de colisões com bandos de gansos-canadenses (*Branta canadensis*). No Brasil, o urubu-de-cabeça-preta (*Coragyps atratus*) é uma das espécies que oferecem maior risco (Novaes & Alvarez, 2010) e no sudeste do Brasil, com exceção do litoral, espécies como o

quero-quero (*Vanellus chilensis*) e o carcará (*Caracara plancus*) são as mais frequentes em colisões (Guedes *et al.* 2010; Carvalho, 2018 comunicação pessoal). De acordo com Carvalho *et al.* (2018 comunicação) no Aeroporto Carlos Drummond Andrade (Belo Horizonte, MG), a falcoaria com *Parabuteo unicinctus* (gavião-asa-de-telha) foi eficaz com *V. chilensis* e *Patagioenas picazuro* (asa-branca), mas não com *C. plancus*.

Os objetivos deste estudo foram (1) investigar o impacto do risco de predação imposto pela falcoaria com *P. unicinctus* na composição, riqueza e abundância de aves em dois aeroportos do sudeste do Brasil. (2) Identificar quais as possíveis características que determinam estas respostas e se estas respostas podem ser usadas para diminuir as colisões entre aves e aeronaves. Assim nossas hipóteses são:

- 1) A falcoaria altera a composição, riqueza e abundância de aves na área operacional destes aeroportos;
- 2) A abundância, tamanho e peso das aves determinam se a espécie é ou não sensível ao risco de predação imposto pela falcoaria;
- 3) Aves mais abundantes têm maiores chances de colidirem com aeronaves.

Metodologia

Nós realizamos o presente estudo nos dois maiores aeroportos de Minas Gerais, sudeste do Brasil. O Aeroporto Carlos Drummond Andrade (ACDA), construído na década de 1930, tem capacidade para até 1,5 milhão de passageiros por ano. Com o crescimento da cidade, tornou-se um aeroporto central, inserido no perímetro urbano. O aeródromo está instalado em uma área de aproximadamente 580 m², na região do bairro Pampulha, a 8 km do centro da cidade de Belo Horizonte. O Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), construído em 1980, tem capacidade para até 22 milhões de passageiros por ano. O aeródromo está instalado em uma área de aproximadamente 132 mil m² de área, sendo 52 mil m² na nova área, na região de metropolitana de Belo Horizonte, a 40 km do centro de cidade.

Falcoaria nos aeroportos

No ACDA utilizamos a falcoaria cinco (05) dias/semana em quatro (04) plots circulares fixos (lados experimentais), de 150 metros de raio, ao longo do gramado de 2,4 km que

circunda a pista do aeroporto (Figura 1). Outros quatro (04) plots circulares fixos na mesma pista foram mantidos sem falcoaria (lados de controle) (Figura 2). Os *P. unicinctus* sob o comando do falcoeiro voavam nos plots de 7:00 às 9:00 e de 15:30 às 17:30, totalizando quatro horas/dia. Entretanto no AITN, por ser maior, utilizamos a falcoaria em cinco (05) plots similares aos do ACDA também cinco dias/semana. nos horários de 7:00 às 9:20 e de 15:10 às 17:30, totalizando 4:20hs/dia.

No ACDA a falcoaria foi feita nos plots a cada dois meses alternadamente, entre os dois lados da pista durante três anos (2014 a 2016), com um total de 2.880 horas. Enquanto que no AITN foi feito da mesma forma, porém se alternava os lados a cada dois meses e meio, apenas durante dois anos (2015 e 2016), tendo um total de 2.112 hs.



Figura 1. Metodologia de falcoaria nos plots do lado experimental (com falcoaria) . A utilização de *P. unicinctus* em voo nos plots circulares. Os Falcoeiros em atividades de voo ao punho (técnica de treinamento básica de falcoaria). Eram utilizadas quando não haviam presas conspícuas na área operacional. Utilizamos esta técnica para evidenciar para aves nas redondezas do plot experimental a presença ativa do *P. unicinctus*.

Uso do gavião-asa-de-telha (Parabuteo unicinctus)

Utilizamos em cada aeroporto quatro indivíduos da espécie gavião-asa-de-telha (*Parabuteo unicinctus*), treinados com técnicas de falcoaria, sendo que apenas um indivíduo voava por

vez. Usamos um dos *P. uncinctus* na parte da manhã e o outro na parte da tarde. Os outros dois utilizamos como reservas em períodos em que os primeiros estivessem impossibilitados de voar, devido a muda de penas, lesões ou doenças.

Todas as espécies silvestres capturadas no momento da falcoaria re-introduzimos em áreas de reserva indicadas pelo órgão ambiental responsável (SUPRAM_IEF/Belo Horizonte) e espécies exóticas, recolhidas pelo mesmo órgão. Todos os métodos utilizados no manejo dos animais capturados no estudo seguiram as normas de políticas e diretrizes éticas da ARRP (Animal Research Review Panel).



Figura 2. Visão aérea do ACDA mostrando os plots circulares amarelos e os dois lados separados da pista (dividida com uma linha verde). lado experimental (com falcoaria) e lado de controle (sem falcoaria). Nos primeiros dois meses do experimento, a falcoaria era usada nos plots de um dos lados da pista, mostrados na figura como lado 1 ou lado 2 em amarelo. A cada dois meses os lados eram invertidos consecutivamente durante os três (03) anos de estudo.

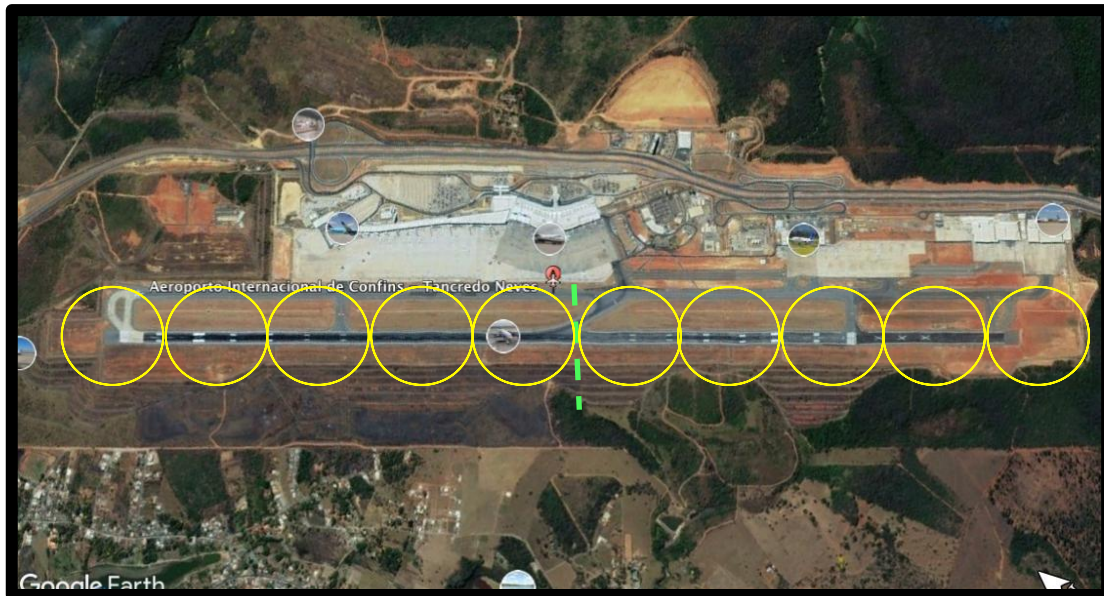


Figura 3. Visão aérea do AITN que mostra os plots circulares amarelos e os dois lados separados da pista (dividida com uma linha pontilhada verde). O lado experimental (com falcoaria) e lado de controle (sem falcoaria) que a cada dois meses os lados foram invertidos, mesma metodologia utilizada no ACDA, porem em apenas dois (02) anos.

Censo avifaunístico

Utilizamos o censo avifaunístico para quantificar as espécies e suas abundâncias nos aeroportos nos plots em cada lado, experimental e controle. O ornitólogo fazia a quantificação e identificação das aves paralelamente ao falcoeiro executando a falcoaria no lado experimental e continuava o percurso do censo sozinho no lado controle. Nós usamos o método de pontos fixos (Bibby *et al* 2000, Sauer *et al* 2001) nos mesmos pontos onde utilizamos a falcoaria (Figura 1 e 2), modificados de acordo com Carvalho *et al* (2018, comunicação pessoal). Para que todos os pontos fossem amostrados em todos os horários definidos, os horários de amostragem dos pontos foram pré fixados diminuindo erros e tendências de detecção de espécies em certos horários (veja Buckland *et al.* 2001 e Rosenstock *et al.* 2002). A distância entre os *plots* foi definida de acordo com Sutherland *et al.* (2004) que sugere 300 metros de distância mínima entre os pontos dos transectos. Estas distâncias foram medidas através do monóculo *RangeFinder* (Bushnell_laser_Rangefinder_Sport 850/202205).

Colisões entre aves e aeronaves

Durante o estudo, buscas cuidadosas de carcaças de aves foram realizadas na área operacional dos aeroportos e quando encontradas, suas localizações foram determinadas por GPS. Isto permitiu analisar quais espécies e quantos indivíduos colidiram com aeronaves nos lados experimentais e controle do experimento .

Análises estatísticas

O modelo linear misto generalizado (GLMM, R package lme4, Bates *et al.* 2017) foi utilizado tanto para compararmos as abundâncias e as riquezas em espécies nas áreas experimentais e controle de cada aeroporto. Assim assumimos a **pseudo-replicação** espacial e temporal, para comparar os efeitos do risco de predação da falcoaria (efeito fixo) nas riquezas e abundâncias de aves dentro do *plot* circular (variáveis de resposta), entre áreas experimentais e controle. As parcelas circulares foram testadas para **efeitos aninhados aleatórios** (Bates et al. 2012). Utilizamos a análise de dados de contagem, e o modelo que mais se encaixou nos nossos dados foi o modelo de distribuição de Poisson. Os modelos finais foram submetidos a análises residuais para eliminar os efeitos aleatórios (Crawley, 2002).

Usamos o escalonamento multidimensional não métrico (NMDS) para mostrar possíveis diferenças entre a avifauna dos aeroportos e as possíveis diferenças entre lados com (experimentais) e sem a falcoaria (controle). Isso foi feito com base nas similaridades entre as abundâncias e composições das espécies em cada aeroporto, e suas áreas operacionais e perimetrais. Para esse propósito foram usadas distâncias Bray-Curtis (Clark 1993, Beals 2006).

A regressão logística foi usada para testar a hipótese de que a sensibilidade à falcoaria pode ser associada a características específicas das espécies de aves. Nós utilizamos como variável dependente o efeito da falcoaria nas abundâncias das aves. Assim funcionalmente a resposta 0 era referente às espécies que não obtivemos respostas ou aquelas que responderam aumentando suas abundâncias, e a resposta 1 aquelas que diminuíram a abundância. Usamos três variáveis independentes para testar nossa hipótese: o peso e o comprimento são variáveis contínuas que podem ser associadas ao maior dano na colisão, pois os maiores danos são conferidos às espécies maiores e mais

pesadas (DeVauld *et al.* 2018). Utilizamos também do nosso banco de dados a variável abundância de aves que é uma variável associada à periculosidade.

De acordo com Dolbeer *et al.* (2016) as colisões com aves pequenas podem gerar danos insignificantes, entretanto se um avião colidir com várias aves pequenas, pode causar danos estruturais graves ou até mesmo a queda deste avião. As medidas de peso e comprimento foram retiradas de Del Hoyo & Collar (2014), o peso - referente ao peso médio das espécies encontradas nos aeroportos, tamanho (comprimento da ponta do bico a ponta da cauda das espécies encontradas nos aeroportos). As variáveis escolhidas para regressão logística foram logaritimizadas a fim de facilitar a análise de valores.

O teste Wilcoxon (Crichton, 1998, R package exact RankTests, Hothorn and Hornik, 2017) foi utilizado para comparar as proporções de colisões de aves, de 2014 a 2016, entre as lados controle e experimental (número de colisões lado controle/mês ~ número de colisões lado experimental/mês). Por fim, a correlação de Spearman foi usada para testar a hipótese de que as colisões são mais comuns com aves mais abundantes na área operacional. Com exceção do teste de Correlação de Spearman feita no Past3 Software, todas as análises foram realizadas usando o R Statistical Software (R Development Core Team, 2015).

Resultados

No ACDA fizemos 193 amostragens e registramos 135 espécies divididas em 16 ordens e 40 famílias. Destas, 122 espécies ocorriam em áreas perimetrais e 109 em áreas operacionais. No AITN, foram feitas 119 amostragens e registradas 99 espécies divididas em 9 ordens e 14 famílias. Destas, 77 espécies ocorreram em áreas perimetrais e 74 em áreas operacionais.

Mudanças entre as composições de espécies

O aumento de risco de predação imposto pela falcoaria mudou significativamente as composições de espécies no aeroporto ACDA se compararmos os lados controle e experimentais (Figura.3).

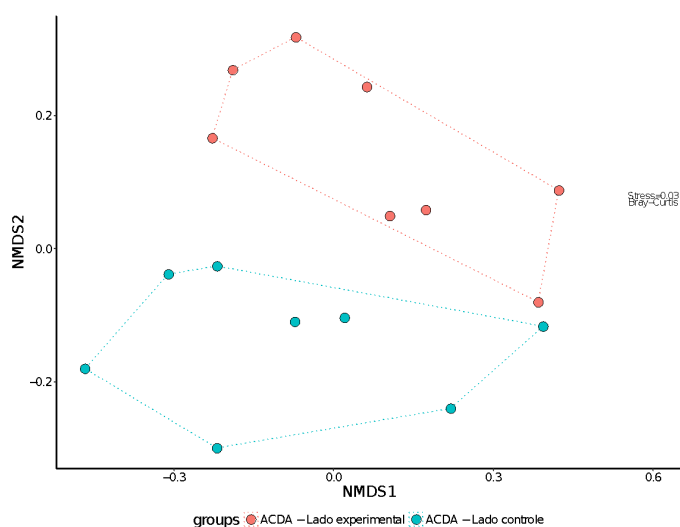


Figura 3 - NMDS mostrando a composições das espécies de aves distintas nos lados experimentais e controle do Aeroporto Carlos Drummond Andrade (ACDA).

Já no AITN observamos um sobreposição nas composições de aves em lados experimentais e controle (Figura.4) mostrando que não há diferenças distintas entre as duas composições mesmo com o impacto da falcoaria.

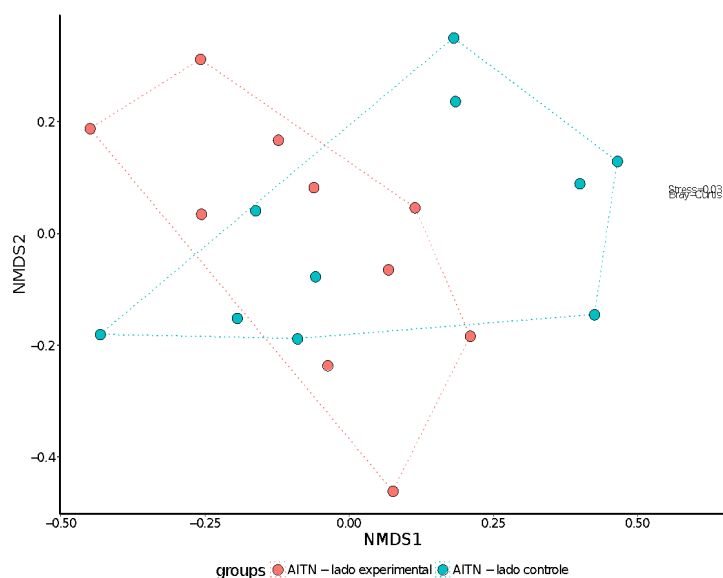


Figura 4 - NMDS mostrando a sobreposição da composição das espécies de aves, no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN) nos lados experimentais e controle.

Diferenças entre as riquezas em espécies

Diferenças entre as riquezas em espécies

Nossas análises GLMM mostraram que o modelo mais adequado para nossos dados foi o modelo de distribuição de Poisson que nos indicou que a riqueza em aves no ACDA varia significativamente entre lados controle e experimental (glmer/riqueza~falcoaria+(1|ponto), poisson - $X^2 = 8.4478$, $DF = 1$, $p < 0.003$). Cabe ressaltar que a riqueza de aves nos lados experimentais foi cerca de 1,3 vezes menor (Figura.4). Porém no AITN a riqueza mostra diferença marginalmente significativa (glmer/riqueza~falcoaria+(1|ponto), poisson - $X^2 = 3.6525$, $DF = 1$, $p < 0.0559$), apesar da riqueza em espécies foi 1,25 vezes menor nos lados experimentais (Figura.5).

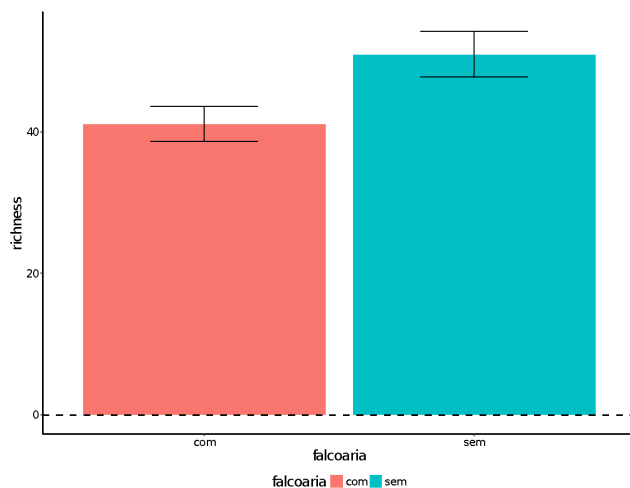


Figura 4. Riqueza em espécies de aves no ACDA, em lados controle (sem falcoaria) e experimentais (com falcoaria). Legendas: com= Lado experimental; sem= lado controle; Eixo y (richness) = Riqueza em espécies de aves; eixo x=Falcoaria.

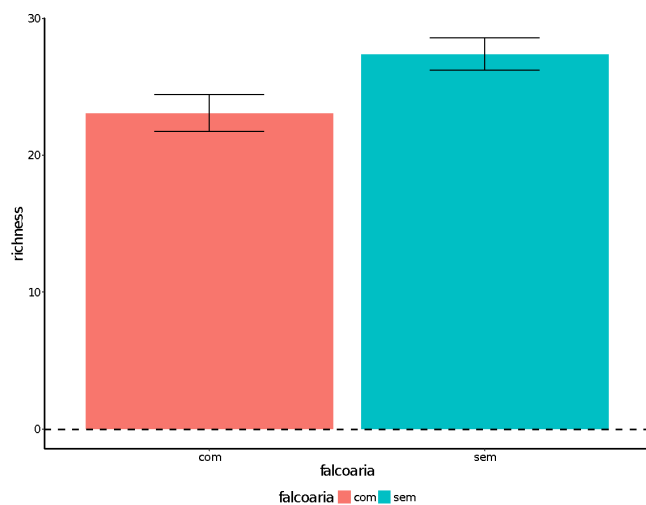


Figura 5. Riqueza em espécies de aves no AITN, em lados controle (sem falcoaria) e experimentais (com falcoaria). Legendas: com= Lado experimental; sem= lado controle; Eixo y (richness) = Riqueza em espécies de aves; eixo x=Falcoaria.

Diferenças entre as abundâncias de espécies de aves

Observamos uma redução notável na abundância média das populações de aves nos dois aeroportos. No ACDA (glmer/abundância~falcoaria+(1|ponto), Poisson - $X^2 = 56.892$, $DF = 1$, $p < 0,00001$) apresentou 1,57 vezes menor em lados experimentais. Enquanto no AITN (glmer/abundância~falcoaria+(1|ponto), Poisson - $X^2 = 89.2751$, $DF = 1$, $p < 0,00001$) apresentou a diminuição de 1,42 vezes nos lados experimentais.

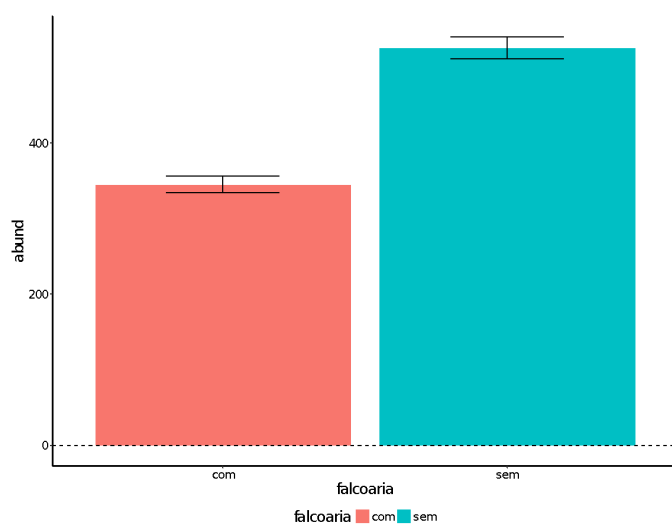


Figura 5. Abundância de espécies aves nos ACDA, em áreas operacionais nos lados com e sem falcoaria. Legendas: com= área experimental; sem= área controle;

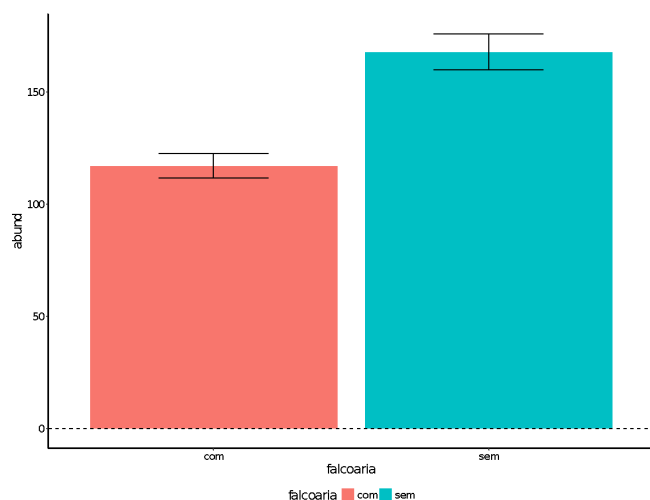


Figura 6. Abundância de espécies no AITN em áreas operacionais nos lados com e sem falcoaria. Localização: com= área experimental; sem= área controle.

A despeito da abundância geral das espécies ter queda significativa nos dois aeroportos, nem todas as espécies respondem ao aumento de risco de predação causado pelos *P. unicinctus*. Das 135 espécies presentes no ACDA, 108 ocorriam em áreas operacionais e 37 delas responderam ao risco de predação (Tabela 3). Destas, 35 diminuíram suas abundâncias, duas aumentaram e 32 espécies não se alteraram (Tabela 4). As outras 40 espécies eram raras e não foram analisadas. Da mesma forma, no AITN houve queda nas abundâncias das espécies. Das 99 espécies registradas no AITN, 74 ocorrem na área operacional, 20 responderam ao risco de predação (Tabela 5). Destas 18 diminuíram sua abundância, duas aumentaram e 14 não se alteraram (Tabela 6). Quarenta espécies eram raras e não foram analisadas.

Tabela 3. Espécies de aves comuns na área operacional do ACDA que a abundância varia com a falcoaria (reduzindo ou aumentando). utilizamos análises com o Modelo de distribuição de poisson, valores demonstrados na coluna de Estatística. Na coluna de Falcoaria, mostra quais delas respondem a falcoaria diminuindo a abundância significativamente (=1) e se respondem aumentando significativamente a abundância (=2).

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatísticas
			Controle	Experimental	Resposta	
ANSERIFORMES	ANATIDAE	<i>Dendrocygna viduata</i>	7	0	1	0,001
		<i>Amazonetta brasiliensis</i>	48	17	1	0,002
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Columba livia</i>	132	25	1	0,000
		<i>Columbina talpacoti</i>	264	57	1	0,000
		<i>Columbina squammata</i>	4	0	1	0,000
		<i>Patagioenas picazuro</i>	6064	3029	1	0,000

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatísticas
			Controle	Experimental	Resposta	P
CAPRIMULGIFORMES	APODIDAE	<i>Chaetura meridionalis</i>	107	26	1	0,000
	THROCHILIDAE	<i>Phaethornis pretrei</i>	4	1	1	0,004
CUCULIFORMES	CUCULIDAE	<i>Guira guira</i>	335	147	1	0,010
		<i>Crotophaga ani</i>	789	525	1	0,007
GRUIFORMES	ARAMIDAE	<i>Aramus guarauna</i>	12	4	1	0,001
		<i>Ardea alba</i>	3	0	1	0,008
PELECANIFORMES	ARDEIDAE	<i>Bubulcus ibis</i>	85	35	1	0,040
		<i>Butorides striata</i>	21	0	1	0,001
CHARADRIIFORMES	CHARADRIIDAE	<i>Vanellus chilensis</i>	844	452	1	0,000
STRINGIFORMES	STRINGIDAE	<i>Athene cucularia</i>	27	1	1	0,000
PICIFORMES	PICIDAE	<i>Colaptes campestris</i>	336	103	1	0,000
PSITTACIFORMES	PSITTACIDAE	<i>Brotogeris chiriri</i>	219	95	1	0,023
PASSERIFORMES	ICTERIDAE	<i>Chrysomus ruficapillus</i>	117	61	1	0,023
		<i>Tyrannus savana</i>	133	99	1	0,035
		<i>Todirostrum poliocephalum</i>	2	20	2	0,035
	TYRANNIDAE	<i>Todirostrum cinereum</i>	55	6	1	0,004
		<i>Fluvicola nengeta</i>	62	40	1	0,004
		<i>Tyrannus melancholicus</i>	68	0	1	0,126
		<i>Certhiaxis cinnamomeus</i>	415	327	1	0,003
	MOTACILLIDAE	<i>Anthus lutescens</i>	176	81	1	0,002
		<i>Volatinia jacarina</i>	259	231	1	0,047
	THRAUPIDAE	<i>Sicalis luteola</i>	23	0	1	0,001
		<i>Sicalis flaveola</i>	40	21	1	0,002
		<i>Tersina viridis</i>	3	0	1	0,001
		<i>Tangara sayaca</i>	46	25	1	0,035
	THAMNOPHILIDAE	<i>Thamnophilus caerulescens</i>	44	29	1	0,047
		<i>Thamnophilus torquatus</i>	15	0	1	0,001
	MIMIDAE	<i>Mimus saturninus</i>	0	31	2	0,000
	HITUNDINIDAE	<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	2226	605	1	0,007
		<i>Progne tapera</i>	48	5	1	0,000
ESTRILDIDAE	<i>Estrilda astrild</i>	605	282	1	0,000	

Tabela 4. Espécies de aves comuns na área operacional do ACDA que a abundância não se alterou com a falcoaria. utilizamos análises com o Modelo de distribuição de poisson, valores demonstrados na coluna de Estatística.

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatísticas
			Controle	Experimental	Resposta	P
CAPRIMULGIFORMES	THROCHILIDAE	<i>Eupetomena macroura</i>	50	36	0	0,075
GRUIFORMES	RALLIDAE	<i>Aramides cajaneus</i>	11	10	0	0,534
PELECANIFORMES	ARDEIDAE	<i>Ardea cocoi</i>	2	0	0	0,632
		<i>Syrigma sibilatrix</i>	37	14	0	0,433
CATHARTIFORMES	CATHARTIDAE	<i>Coragyps atratus</i>	3	10	0	0,612
ACCIPITRIFORMES	ACCIPITRIDAE	<i>Heterospizias meridionalis</i>	7	4	0	0,412
		<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	7	6	0	0,596
		<i>Rupornis magnirostris</i>	42	38	0	0,764
PICIFORMES	PICIDAE	<i>Colaptes melanochloros</i>	7	9	0	0,709
		<i>Picumnus cirratus</i>	2	0	0	0,724
FALCONIFORMES	FALCONIDAE	<i>Caracara plancus</i>	167	120	0	0,086
		<i>Milvago chimachima</i>	31	39	0	0,836
		<i>Falco femoralis</i>	26	34	0	0,480
		<i>Falco sparverius</i>	24	7	0	0,161
PSITTACIFORMES	PSITTACIDAE	<i>Psittacara leucophthalmus</i>	8	5	0	0,099
PASSERIFORMES	ICTERIDAE	<i>Sturnella superciliaris</i>	44	32	0	0,433
		<i>Molothrus bonariensis</i>	87	59	0	0,644
	TYRANNIDAE	<i>Xolmis cinereus</i>	32	33	0	0,925
		<i>Xolmis velatus</i>	45	34	0	0,167
		<i>Pitangus sulphuratus</i>	267	305	0	0,233

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatística
			Controle	Experimental	Resposta	P
		<i>Camptostoma obsoletum</i>	11	9	0	0,768
		<i>Elaenia flavogaster</i>	27	33	0	0,795
		<i>Machetornis rixosa</i>	116	121	0	0,570
		<i>Myiozetetes similis</i>	33	31	0	0,979
	FURNARIDAE	<i>Furnarius figulus</i>	8	5	0	0,404
		<i>Furnarius rufus</i>	75	53	0	0,294
		<i>Sporophila nigricollis</i>	17	6	0	0,054
	THRAUPIDAE	<i>Coereba flaveola</i>	15	19	0	0,580
	FRINGILIDAE	<i>Euphonia chlorotica</i>	26	32	0	0,923
	TROGLODYTIDAE	<i>Troglodytes musculus</i>	154	159	0	0,540
	PASSERIDAE	<i>Passer domesticus</i>	132	167	0	0,748
	TURDIDAE	<i>Turdus leucomelas</i>	12	7	0	0,063

Tabela 5. Espécies de aves comuns na área operacional do AITN que a abundância varia com a falcoaria (reduzindo ou aumentando). utilizamos análises com o Modelo de distribuição de poisson, valores demonstrados na coluna de Estatística. Na coluna de **Falcoaria**, mostra quais delas respondem a falcoaria diminuindo a abundância significativamente (=1) e se respondem aumentando significativamente a abundância (=2).

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatística
			Controle	Experimental	Resposta	P
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Columbina talpacoti</i>	15	4	1	0,000
		<i>Patagioenas picazuro</i>	371	239	1	0,000
		<i>Zenaida auriculata</i>	353	123	1	0,003
CAPRIMULGIFORMES	THROCHILIDAE	<i>Colibri serrirostris</i>	1	8	2	0,001
CUCULIFORMES	CUCULIDAE	<i>Crotophaga ani</i>	64	33	1	0,007
CHARADRIIFORMES	CHARADRIIDAE	<i>Pluvialis dominica</i>	0	8	2	0,001
STRINGIFORMES	STRINGIDAE	<i>Athene cunicularia</i>	21	0	1	0,000
PICIFORMES	PICIDAE	<i>Colaptes campestris</i>	43	17	1	0,000
PSITTACIFORMES	PSITTACIDAE	<i>Brotogeris chiriri</i>	12	0	1	0,023
		<i>Amazona aestiva</i>	46	0	1	0,008
PASSERIFORMES	ICTERIDAE	<i>Sturnella superciliaris</i>	10	0	1	0,043
	TYRANNIDAE	<i>Camptostoma obsoletum</i>	15	3	1	0,077
	FURNARIDAE	<i>Synallaxis albescens</i>	90	53	1	0,003
	PASSERELLIDAE	<i>Ammodramus humeralis</i>	163	66	1	0,003
	THRAUPIDAE	<i>Sicalis flaveola</i>	21	0	1	0,001
		<i>Sicalis luteola</i>	209	134	1	0,023
		<i>Sicalis citrina</i>	63	24	1	0,002
	TROGLODYTIDAE	<i>Troglodytes musculus</i>	67	30	1	0,029
	HIRUNDINIDAE	<i>Progne chalybea</i>	105	0	1	0,000
		<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	229	134	1	0,007

Tabela 6. Espécies de aves comuns na área operacional do AITN que a abundância não se alterou com a falcoaria. utilizamos análises com o Modelo de distribuição de poisson, valores demonstrados na coluna de Estatística.

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatística
			Controle	Experimental	Resposta	P
CHARADRIIFORMES	CHARADRIIDAE	<i>Vanellus chilensis</i>	64	60	0	0,086
CATHARTIFORMES	CATHARTIDAE	<i>Coragyps atratus</i>	65	28	0	0,612
PICIFORMES	RAMPHASTIDAE	<i>Tucano Toco</i>	13	16	0	0,086
FALCONIFORMES	FALCONIDAE	<i>Caracara plancus</i>	34	32	0	0,086
		<i>Milvago chimachima</i>	28	39	0	0,836

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatística
			Controle	Experimental	Resposta	P
PASSERIFORMES	TYRANNIDAE	<i>Falco femoralis</i>	13	16	0	0,681
		<i>Falco sparverius</i>	10	6	0	0,161
		<i>Xolmis cinereus</i>	19	19	0	0,925
		<i>Xolmis velatus</i>	34	22	0	0,167
		<i>Tyrannus melancholicus</i>	8	15	0	0,126
	EMBEREZIDAE	<i>Anthus lutescens</i>	95	40	0	0,161
	THRAUPIDAE	<i>Volatinia jacarina</i>	619	450	0	0,047
		<i>Saltatricula atricollis</i>	37	37	0	0,836
	MIMIDAE	<i>Mimus saturninus</i>	28	22	0	0,246

Resposta das espécies envolvidas em colisões

Das 13 espécies envolvidas em colisões no ACDA, três não alteraram, duas ficam mais e oito menos abundantes significativamente, enquanto duas eram raras e não foram analisadas (Tabela 7). Enquanto das 17 espécies presentes em colisões no AITN, seis não se alteraram, sete diminuíram, uma aumentou significativamente sua abundância e 3 eram raras e não foram analisadas (Tabela 8).

Nossas análises indicaram que a abundância das aves tem correlação altamente significativas com as colisões no ACDA (Spearman's r_s , $P = 0,007$) e no AITN (Spearman's r_s , $P = 0,002$), ou seja, com o aumento da abundância mais acidentes foram registrados.

Tabela 7. Espécies que se envolveram em colisões com aeronaves no ACDA. Nela encontramos valores totais de abundância em lados controle e experimentais, se elas respondem a falcoaria diminuindo a abundância significativamente (=1), se respondem aumentando significativamente a abundância (=2) ou não se alteram significativamente (=0); o número de colisões por espécie e total; e a porcentagem do total de colisões por espécie.

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Colisões			
			Controle	Experimental	Resposta	Controle		Experimental	
			N	N		N	%	N	%
ANSERIFORMES	ANATIDAE	<i>Dendrocygna viduata</i>	7	0	1	1	2,04	0	0
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Columba livia</i>	132	25	1	1	2,04	0	0
		<i>Patagioenas picazuro</i>	6064	3029	1	8	16,33	3	6,12
CAPRIMULGIFORMES	APODIDAE	<i>Chaetura meridionalis</i>	107	26	1	1	2,04	0	0
CUCULIFORMES	CUCULIDAE	<i>Guira guira</i>	335	147	1	2	4,08	0	0
PELECANIFORMES	ARDEIDAE	<i>Syrigma sibilatrix</i>	37	14	0	2	4,08	0	0
CHARADRIIFORMES	CHARADRIIDAE	<i>Vanellus chilensis</i>	844	452	1	7	14,29	2	4,08
STRINGIFORMES	STRINGIDAE	<i>Athene cucularia</i>	27	1	1	4	8,16	0	0
CATHARTIFORMES	CATHARTIDAE	<i>Coragyps atratus</i>	3	10	0	1	2,04	0	0
PICIFORMES	PICIDAE	<i>Colaptes campestris</i>	336	103	1	3	6,12	0	0
FALCONIFORMES	FALCONIDAE	<i>Caracara plancus</i>	167	120	0	7	14,29	5	10,20
		<i>Falco femoralis</i>	26	34	0	0	0,00	1	2,04

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria Resposta	Colisões			
			Control e	Experi- mental		Controle		Experimental	
						N	%	N	%
PASSERIFORMES	HIRUNDINIDAE	<i>Progne chalybea</i>	0	7	.	0	0	1	2,041
Total de colisões						3	75,51	12	24,49

Tabela 8. Espécies que se envolveram em colisões com aeronaves no AITN. Ela encontramos valores totais de abundância em lados controle e experimentais, se elas respondem a falcoaria diminuindo a abundância significativamente (=1), se respondem aumentando significativamente a abundância (=2) ou não se alteram significativamente (=0); o número de colisões por espécie e total; e a porcentagem do total de colisões por espécie.

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria Resposta	Colisões			
			Control e	Experi- mental		Controle		Experimental	
						N	%	N	%
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Columba livia</i>	1	0	.	2	3,45	1	1,72
		<i>Patagioenas picazuro</i>	371	239	1	3	5,17	0	0
		<i>Zenaida auriculata</i>	353	123	1	4	6,90	2	3,45
CHARADRIIFORMES	CHARADRIIDAE	<i>Pluvialis dominica</i>	0	8	1	0	0,00	1	1,72
		<i>Vanellus chilensis</i>	64	60	0	3	5,17	2	3,45
STRINGIFORMES	STRINGIDAE	<i>Athene cunicularia</i>	21	0	1	2	3,45	1	1,72
CATHARTIFORMES	CATHARTIDAE	<i>Coragyps atratus</i>	65	28	0	3	5,17	3	5,17
ACCIPITRIFORMES	ACCIPITRIDAE	<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	0	3	0		1,72	2	3,45
PICIFORMES	PICIDAE	<i>Colaptes campestris</i>	43	17	1	1	1,72	4	6,90
FALCONIFORMES	FALCONIDAE	<i>Caracara plancus</i>	34	32	0	4	6,90	5	8,62
		<i>Milvago chimachima</i>	28	39	0	0	0,00	1	1,72
		<i>Falco femoralis</i>	13	16	0	0	0,00	1	1,72
		<i>Falco sparverius</i>	10	6	0	1	1,72	0	0
PSITTACIFORMES	PSITTACIDAE	<i>Eupsittula aurea</i>	7	0	.	1	1,72	0	0
	TYRANNIDAE	<i>Xolmis cinereus</i>	19	19	0	1	1,72	1	1,72
PASSERIFORMES	HIRUNDINIDAE	<i>Progne chalybea</i>	105	0	1	1	1,72	0	0
		<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	229	134	1	3	5,17	1	1,72
		<i>Progne tapera</i>	1	2	.	2	3,45	0	0
Total de colisões						32	55,17	25	43,10

Sensibilidade de aves à falcoaria com *P. unicinctus*

De modo geral, o modelo final da regressão logística permitiu identificar uma característica responsável pela sensibilidade das aves à falcoaria. Nós demonstramos dois ensaios de modelos, onde o modelo final ajustado indicou que as espécies mais abundantes são mais sensíveis à falcoaria (Tabela 9). Deste modo há maior probabilidade de aves mais abundantes serem afetadas pelas falcoaria do que as espécies menos abundantes. Essas relações também refletem nas razões de chances. As aves que estão mais abundantes em áreas experimentais tem 5,140 vezes mais probabilidade de serem afetadas pela falcoaria que as aves que estão menos abundantes.

Os gráficos dos dois aeroportos (Figura 7) demonstram claramente que as aves com diferenças significativas nas abundâncias tendem a se acumular nos quadrantes direitos do gráfico abaixo da linha de referência, indicando que as espécies mais abundantes são as mais afetadas. Portanto este gráfico corrobora com os resultados da nossa regressão logística. Entretanto as outras características analisadas como comprimento e peso parecem não ter nenhuma relação, pois estão ao redor de toda linha de referência no centro do gráfico. Também, mostra há correlação notável entre as espécies abundantes e colisões já apontadas nas análises de Spearman no tópico anterior, pois há um acúmulo de espécies de aves que colidiram com aeronaves (pontos vermelhos) nos quadrantes direitos, mostrando a tendência das mais abundantes à colisão.

Tabela 9. Modelos de Regressão Logística – O Modelo de melhor ajuste da relação entre as variáveis. Nos dois modelos testados, a variável dependente foi a sensibilidade a falcoaria. No Primeiro modelo as variáveis independentes foram: LOG(peso) = peso médio das espécies de aves; LOG(Abundância) abundância relativa das espécies de aves; LOG(comprimento)= Comprimento médio das espécies de aves. o modelo final, restou apenas a variável dependente que é a sensibilidade a falcoaria, a variável independente a abundância. O limite para remoção de variáveis na análise de regressão logística foi $p = 0,05$.

Modelo	estimate	st error	Z	P	95% Confi. Interval	
					Lower	Upper
Modelo inicial Variável dependente: sensibilidade a falcoaria						
Constante	-9,839	4,174	-2,235	0,018	-18,019	-1,658
LOG(Peso)	-0,623	1,711	-0,364	0,716	-3,976	2,730
LOG(Abundância)	2,026	0,550	3,682	0,000	0,948	3,105
LOG(Comprimento)	4,890	5,369	0,911	0,362	-5,633	2,185
Modelo	Odds Ratio	st error	95% Confi. Interval			
			Lower	Upper		
LOG(Peso)	0,536	0,917	0,019	15,326		
LOG(Abundância)	7,586	4,175	2,580	22,307		
LOG(Comprimento)	132,941	713,761	0,004	4.940.317,677		
Modelo	estimate	st error	Z	P	95% Confi. Interval	
					Lower	Upper
Modelo final Variável dependente: sensibilidade a falcoaria						
LOG(Abundância)	3,408	0,831	3,745	0,000	5,038	1,778
Constante	1,637	0,437	4,099	0,000	0,780	2,494
Modelo	Odds Ratio	st error	95% Confi. Interval			
			Lower	Upper		
LOG(Abundância)	5,1400	2,2470	2,1820	12,1060		

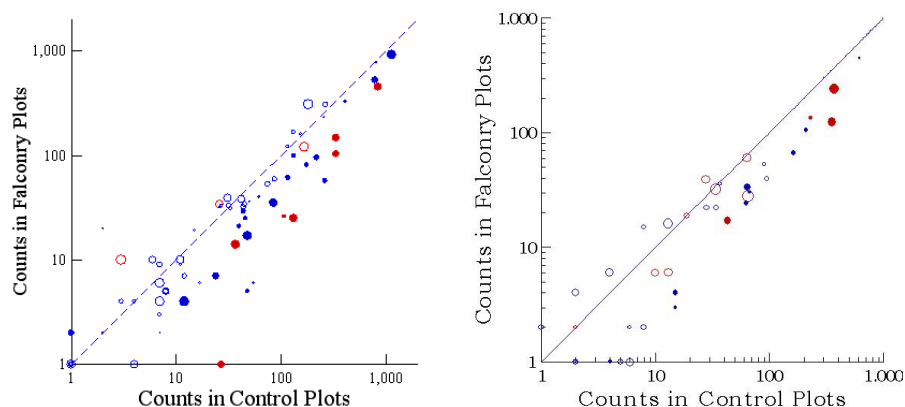


Figura 7. Abundância de espécies no ACDA à esquerda e AITN à direita - lados controle (Control Plots) em relação aos lados experimentais (Falconry Plots). Pontos cheios – espécies com diferenças significativas entre lados experimentais e controle; Pontos vazios – espécies sem diferença significativa; Pontos grandes – espécies grandes; pontos pequenos – espécies pequenas; pontos vermelhos – espécies registradas em colisões com aeronaves; na linha de referência que está representada tracejada no scatterplot do ACDA e contínua no AITN, demonstra que nela as abundâncias das aves são iguais nos lados experimental e controle.

Como continuação, os gráficos abaixo esclarecem que a razão da redução diminui com a abundância (Figura 8). Isto indica que apesar das espécies de aves mais abundantes serem as mais afetadas, quanto maior os bandos dessas aves, menos elas irão responder à falcoaria.

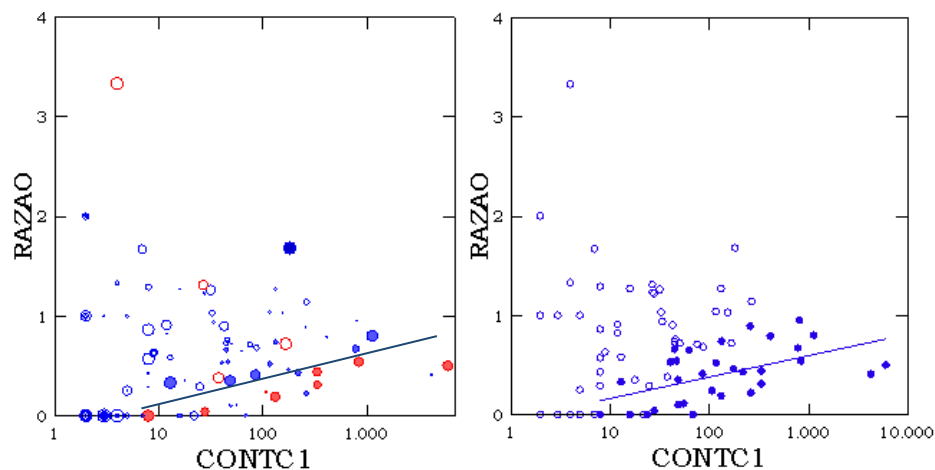


Figura 8. Abundância de espécies no ACDA em razão de redução ($=N_{\text{lado_experimental}}/N_{\text{lado_controle}}$). Pontos cheios – espécies com diferenças significativas entre lados experimentais e controle; Pontos vazios – espécies sem diferença significativa ou raras; Pontos grandes – espécies grandes; pontos pequenos – espécies pequenas; pontos vermelhos – espécies registradas em colisões com aeronaves.

Colisões

No ACDA um total de 51 colisões de aeronaves-pássaros foram registradas de 2014 a 2016. Destas, 39 colisões ocorreram nos lados controles enquanto 12 nos lados experimentais. O número médio mensal de colisões com aves nos lados experimental e controle respectivamente foi de 1,08/mês para 0,33/mês, respectivamente, ou seja, colisões foram três vezes menores nos lados experimentais, altamente significativas (teste de Wilcoxon = 2,994, $n = 36$, $p = 0,002$).

Enquanto o AITN registrou um total de 71 colisões entre 2015 e 2016, destas 66 eram aves e cinco outros animais (mamíferos e répteis). Assim 36 colisões foram nos lados de controle, enquanto 30 nos lados experimentais. O número médio mensal de colisões com aves nos lados controle e experimental respectivamente foi de 1,50/mês para 1,25/mês. As colisões em áreas experimentais mostraram registros de colisões 1,2 vezes menor e marginalmente significativo (teste de Wilcoxon = 1,903, $n = 24$, $p = 0,053$).

Discussão

O risco de predação causado pela falcoaria com *P. unicinctus* modificou a distribuição das espécies de aves dentro das áreas operacionais dos dois aeroportos. Apesar das distintas paisagens entre estes aeroportos, houve modificações similares nas composições de espécies de aves. No entanto observa-se a total diferenciação de composições de espécies entre os lados experimental e controle apenas no ACDA, enquanto que no AITN houve sobreposição. Isto pode ser associado ao maior tempo amostral do ACDA (três anos) comparado com AITN (dois anos). Estas alterações na composição de espécies levaram também à diminuição da riqueza em aves. (Bonford and O'brien 1995) sugerem que estas modificações podem levar a erradicação de espécies e a indução de *turnover*.

De acordo com Carvalho (2018, comunicação pessoal) presas podem apresentar mudanças comportamentais como distanciamento, aumento de vigilância, além dos declínios de densidade. Como o contínuo risco de predação torna os gastos energéticos muito altos, outras respostas anti-predação mostram-se “economicamente” mais atraentes (Blumstein 2016; Megan *et al.* 2016). De acordo com Suraci *et al.* (2016) em áreas de alto risco de predação as presas modificam os horários de forrageio desviando dos

horários de preferência do predador, ou seja quanto menores as possibilidades de encontro, menores as chances de ser predado.

De acordo com Kauffman *et al.* (2007) ambientes se transformam em heterogêneos tendo locais muito frequentados por predadores e locais de refúgio muito frequentados por presas. Portanto, a falcoaria com *P. uncinctus* como incremento de risco de predação, afetou restringindo áreas de refúgio nos ACDA e AITN, corroborando com estudos que preconizam que o aumento de risco de predação pode causar alteração na distribuição, na composição (Cresswell and Quinn 2013) e na riqueza em espécies (Brown and Kotler, 2001; Laundré *et al.* 2001; Laundré *et al.* 2010) como também levam a diminuição de abundância (Rypstra *et al.* 2007; Cresswell, 2008; Carvalho 2018 comunicação pessoal) e dando suporte a nossa hipótese.

Nos dois aeroportos todas as espécies de aves mostraram-se sensíveis a falcoaria com *P. uncinctus*. Algumas notavelmente visíveis como as espécies da ordem Columbiformes e da família Hirundinidae e outras consideradas não sensíveis como *C. plancus*, *Geranoaetus albicaudatus* contradizendo alguns estudos (MacKinnon 2002; Kitowski *et al.* 2011; Carvalho, 2017 comunicação pessoal) que sugerem que rapinantes diurnos de mesmo peso ou superior não são afetados. Portanto nosso estudo indica que aves abundantes respondem ao risco de predação imposto pela falcoaria independente de seu tamanho ou peso, corroborando com nossa hipótese (2).

Por certo as aves mais abundantes são mais detectadas pelos predadores, como Sutherland (2004) predita, porém apesar de grupos maiores atraírem mais ataques de predadores, também é uma ótima estratégia anti-predação. Assim nossas análises mostram que apesar de espécies mais abundantes serem mais impactadas, quanto maior o grupo, menos os indivíduos respondem a falcoaria. Cresswell & Quinn (2011) sugerem que quanto maior o número de indivíduos no grupo menores as chances de cada indivíduo ser predado.

Há grandes benefícios para as presas associadas a densidades maiores (Krause and Ruxton 2002) como o ganho de informação de forrageamento, defesa do grupo, vigilância, efeito confusão e diluição do risco. Morrell *et al.* (2010) e Bleicher (2017)



sugerem que a informação é um dos fatores que mais impacta a PDM. As presas provavelmente estarão mais vigilantes com a presença de predadores, conseqüentemente menor chance de ataques inesperados. Animais mais vigilantes a ataques de predadores possivelmente tem menores riscos de se colidirem com aeronaves durante aterrissagens e decolagens. De acordo com Husby (2016) e De Vault (2013) a maioria das colisões entre veículos e aves ocorrem quando as aves estão pousadas na pista e no seu redor, assustando com a chegada da aeronave. Logo podemos esperar que quanto mais aves presentes na área operacional mais probabilidade de se colidir com aeronaves, corroborando com nossa hipótese 3. Por fim, demonstramos que não há correlação entre peso, comprimento e abundância das aves dando embasamento os argumentos de Nee *et al.* (1991), onde sugere que apesar da maioria dos grupos faunísticos tenderem ao padrão de maiores mais raros e os menores mais abundantes, as aves aparentemente podem fugir desta regra.

Conclusão

O uso da falcoaria com *P. unicinctus* aumenta o risco de predação em aves, modificando a composição e diminuindo a riqueza e abundância de espécies de aves, promovendo o declínio de colisões entre aves e aeronaves. As respostas instintivas de medo de predação se espalham mais facilmente nas aves mais abundantes, mas por outro lado, quanto maior os bandos menor é esta resposta. Contudo as mais abundantes são responsáveis pela maioria das colisões. Portanto nestes dois aeroportos as respostas coletivas parecem ser mais importantes que individuais, indicando quais estratégias de manejo de fauna devemos utilizar.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pelo CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil), ICB/UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais). Agradeço o apoio da Biocev Projetos Inteligentes e da Infraero pela possibilidade de fazer este experimento.

Referências Bibliográficas

- Ackert S (2018) Aircraft Maintenance Handbook for Financiers. In: (http://www.aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/aircraft_mx_handbook_for_financiers_v1.pdf) 1st Edition, 2018.
- Allan JR (2000) The costs of bird strikes and bird strike prevention. Human Conflicts with Wildlife: Economic Considerations 18: 147-153. Available in <http://digitalcommons.unl.edu/nwrchumanconflicts/18/>
- ARRP (<https://www.animaethics.org.au/policies-and-guidelines/wildlife-research>).
- Atuo FA, O'Connell TJ (2017) The landscape of fear as an emergent property of heterogeneity: Contrasting patterns of predation risk in grassland ecosystems. Ecology and Evolution 7: 4782–4793.
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. Journal of Statistical Software 67: 01-48.
- Bates D (2017) MixedModels.jl: A Julia package for fitting (statistical) mixed-effects models. original-date: 2013-03-29T21:24:25Z.
- Beals EW (1984) Bray–Curtis ordination: an effective strategy for analysis of multivariate ecological data. Adv Ecol Res 14:1–55.
- Bibby CJ, Burgess ND, Hill DA & Mustoe S (2000). *Bird census techniques* Elsevier.
- Bleicher SS, (2017) The landscape of fear conceptual framework: definition and review of current applications and misuses. PeerJ 5:e3772; DOI 10.7717/peerj.3772
- Blumstein DT (2016) Habituation and sensitization: New thoughts about old ideas. Animal Behaviour 120: 255-262.
- Bomford M and O'Brien P (1995) Eradication or control for vertebrate pests? Wildlife Society Bulletin 23(2):249-255.
- Breuer M (2005) Bird strike statistics of German aviation 2003–2004.
- Brown JS. 1999. Vigilance, patch use and habitat selection: foraging under predation risk. Evolutionary Ecology Research 1:49–71.



- Brown JS, Laundré JW, Gurung M (1999) The ecology of fear: optimal foraging, game theory, and trophic interactions. *Journal of Mammalogy* 80:385–399 DOI 10.2307/1383287.
- Brown JS, Kotler BP (2001) Ecology of Fear: foraging games between predators and prey with pulsed resources. *Annales Zoologici Fennici* 38:71-87.
- Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DF (2001) *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Oxford University Press, New York.
- Carvalho CEA, Marini MÂ (2007) Distributional patterns of raptors in open and forested habitats in Southeast Brazil and effects of urbanisation. *Bird Conservation International* 17: 367-380.
- Carvalho CEA, Figueiredo L, Figueira JEC, Fernandes GF, Grecco RV, Souza AHN (2016a) Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros. *Revista Conexão SIPAER* 1:47-67.
- Carvalho CEA, Figueiredo L, Teixeira CP, Figueira JEC, Dos Anjos L (2016b) A Comunidade de aves do Aeroporto Carlos Drummond Andrade/MG e suas Implicações para a Segurança Aeroportuária. *Revista Conexão SIPAER* 1:47-67.
- Carvalho CA, Figueiredo L, Fernandes GF, Solar R, Teixeira CP, Figueira, JEC (2018 *in press*) Bird responses to Falconry activity reduces the risk for accidents involving bird strikes at a Brazilian Airport. *Basic and Applied Ecology*
- Chalcraft DR, Reserits WJ (2003) Predator identity and ecological impacts: functional redundancy or functional diversity. *Ecology* 84:2407–2418.
- Chamorro M, Clavero J (1994) Falconry for bird control on airdromes. *Bird Strike Committee Europe* 22:397-407.
- Cleary EC, Dolbeer RA (2005) *Wildlife Hazard Management at Airports, a manual for airport operators*. Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, DC USA.



- Civil Aviation Authority (2014a) CAP 772 Wildlife Hazard Management at Aerodromes. UK Civil Aviation Authority, London – England.
- Crawley M J (2002) Statistical Computing. An Introduction to Data Analysis using S-Plus. Wiley Chichester, England, UK.
- Cresswell W (2008) Non-lethal effects of predation in birds. *Ibis* 150: 3–17.
- Cresswell W, Quinn JL (2013) Contrasting risks from different predators change the overall nonlethal effects of predation risk. *Behavioral Ecology* 24: 871–876.
- Crichton NJ (1998) Statistical considerations in design and analysis. In: Roe, B. , Webb, C. Research and Development in Clinical Nursing Practice. London: Whurr .
- Cwiklak J, Grzegorzewski M, Adamski M (2015) Threats and Preventive Methods to Avoid Bird Strikes at the Deblin Military Airfield, Poland. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 9:12-16.
- Del Hoyo J, Collar NJ (2014) Illustrated Checklist of the Birds of the World. Volume 1 (non-passerines). Lynx Edicions, Barcelona & BirdLife International, Cambridge.
- DeVauld TL, Blackwell BF, Belant JL (2013) Wildlife in Airport Enviroments: preventing animal-aircraft collisions through Science-based managment. Edited by DeVauld TL, Blackwell BF, Belant JL, British Library.
- Dolbeer RA, Wright SE, John Weller J, Begier, MJ (2012) Wildlife Strikes to Civil aircraft in the United States 1990-2010. Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990-2010. Serial Report No. 17. U.S. Department of Transpor-tation, Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, DC, USA.
- Ericson WA, Marsh RE Salmon TP (1990) A review of falconry as bird-hazing technique. *Proceedings of 14th Vertebrate Pest Conference, Davis, USA* 1:314-316.
- Guedes FL, Brand DH, Linhares BP, De Paiva LV (2010) Avifauna Relacionada ao Risco de Colisões Aéreas no Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Conexão SIPAER* 2: 230-243.



- Henry LM, Bannerman JA, Gillespie DR, Roitberg BD (2010) Predator identity and the nature and strength of food web interactions. *Journal of Animal Ecology* 79:1164–1171.
- Hothorn T, Hornik K, van de Wiel MA, Zeileis A (2008) “Implementing a Class of Permutation Tests: The coin Package.” *Journal of Statistical Software*, 28(8), 1–23. URL <http://www.jstatsoft.org/v28/i08/>.
- Jacoby, V., 1998. Analysis of bird-strikes to ex-Soviet Union Air Force in East Germany, 1970–1981, 1985–1991. In: *Proceedings of International Bird Strike Committee, IBSC 24/WP 5, Stara Lesna*, pp. 1–11. <<http://www.int-birdstrike.org>>.
- Jacobson, SL, Bliss-Ketchum LL, de Rivera CE, and Smith WP (2016) A behavior-based framework for assessing barrier effects to wildlife from vehicle traffic volume. *Ecosphere* 7(4):e01345. 10.1002/ecs2.1345.
- Kauffman MJ, Varley N, Smith DW, Stahler DR, MacNulty DR, Boyce MS. 2007. Landscape heterogeneity shapes predation in a newly restored predator-prey system. *Ecology Letters* 10:690–700 DOI 10.1111/j.1461-0248.2007.01059.x.
- Kitowski I (2014) The response of Eurasian kestrel *Falco tinnunculus* to falconry at Deblin Military Airfield, East Poland. *Turkish Journal of Zoology* 38:298-305.
- Kitowski I (2011) Civil and Military Birdstrikes in Europe: An Ornithological Approach. *Journal of applied Sciences* 2: 183-191.
- Kitowski I, Grzywaczewski G, Cwiklak J, Grzegorzewski M, Krop S (2011) Falconer activities as a bird dispersal tool at Deblin Airfield (E Poland). *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16: 82-86.
- Krause J, Ruxton GD. 2002. *Living in groups*. Oxford: Oxford University Press.
- Krupka, R., 2000. Collision of the Czech Air Forces Aircraft with birds during 1993–1999. In: *Proceedings of International Bird Strike Committee, IBSC25/WP- SA7, Amsterdam*, pp. 159–168. <<http://www.int-birdstrike.org>>.
- Kuzir S, Muzinic J (1999) Birds and air traffic safety on Zagreb airport *Environmentalist* 18:231-237.

- Laundré JW, Hernandez L, Riple WJ (2010) The Landscape of Fear: Ecological Implication of being Afraid. *The Open Ecology Journal* 3:1–7.
- Laundré JW, Hernández L, Altendorf KB (2001) Wolves, elk, and bison: reestablishing the “landscape of fear” in Yellowstone National Park, USA. *Canadian Journal of Zoology* 79: 1401-1409.
- Larson VL, Rowe SP, Breininger DR (1994) A review of falconry as a bird control technique with recommendations for use at the shuttle landing facility, John F. Kennedy Space Center, Florida, USA.
- MacKinnon B, Sowden R, Russell K, Dudley S (2004) *Sharing the Skies: An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards*. Transport Canada, Aerodrome Safety Branch, Publication TP 13549, Ottawa, Ontario.
- Martin TE (2011) The cost of fear. *Science* 334:1353-1354.
- Megan AO, Swaisgood R, Blumstein D (2016) Contextual influences on animal decision-making: Significance for behaviour-based wildlife conservation and management. *Integrative Zoology* 12:32-38.
- Morrell LJ, Ruxton GD, James R (2011) The temporal selfish herd: predation risk while aggregations form. *Proc. R. Soc. B* 278: 605–612.
- Murar B (1994). Analysis of bird strikes with military airplanes in Czechoslovak People Army from April 1987 to December 1992. In: *Proceedings of Bird Strike Committee Europe*, BSCE 22/WP-24, Vienna, pp. 169–174. <<http://www.int-birdstrike.org>>.
- Novaes WG, Alvarez MRDV (2010) O Perigo aviário em aeroportos do nordeste do Brasil: Análise das colisões entre aves e aviões entre os anos de 1985 e 2009. *Revista Conexão SIPAER* 1: 47-67.
- Rosenstock SS, Anderson DR, Giesen KM, Leukering T, Carter MF (2002) Landbird counting techniques: Currents practices and an alternative. *Auk*, 119: 46-56.
- Rypstra AL, Schmidt JM, Reif BD, Devito J, Matthew H, Rypstra AL, Schmidt JM, Reif BD, Devito J, Persons MH (2007) Tradeoffs involved in site selection and foraging in a wolf spider: effects of substrate structure and predation risk. *Oikos* 116:853–863 DOI 10.1111/j.0030-1299.2007.15622.x.



- Sauer JR, Hines JE, Fallon J *et al.* (2001). The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966-2000. Version 2001.2 USGS Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, MD.
- Sick H (1997) Ornitologia Brasileira. Nova Fronteira, São Paulo, Brasil.
- Soldatini, C., Georgalas, V., Torricelli, P., Albores-Barajas, Y.V., 2010. An ecological approach to bird strike analysis. European Journal of Wildlife Research. doi: 10.1007/s10344-009-0359-z.
- Suraci JP, Clinchy M, Dill LM, Roberts D, Zannette LY. 2016. Fear of large carnivores causes a trophic cascade. Nature Communications 7:Article 10698 DOI 10.1038/ncomms10698.
- Sutherland, WJ, Newton I, Green R.E (2004) Bird ecology and conservation: a handbook of techniques. Oxford: Oxford University Press.
- Thorpe J 1996. Fatalities and destroyed civil aircraft due to bird strikes 1912-1995. Proceedings of International Bird Strike Committee 23:17-31.
- Thorpe J (2012) 100 Years of Fatalities and Destroyed Civil Aircraft due to Bird Strikes. 30th Meeting of the International Bird Strike Conference, Stavanger, Norway.
- UNESCO (2011) Falconry Intangible Cultural Heritage of Humanity *In*: (<https://ich.unesco.org/en/RL/falconry-a-living-human-heritage-01209>).

TABELAS SUPLEMENTARES

Tabela 10. Metodologia de amostragem dos censos avifaunísticos e horários determinados para registros de aves à cada dois meses no aeroporto Carlos Drummond Andrade.

Amostragem por dois meses									
Censos avifaunísticos matinais									
Plots circulares amostrais									
Início dos censos	Hora	1ª semana	2ª semana	3ª semana	4ª semana	5ª semana	6ª semana	7ª semana	8ª semana
matutinos	06:00	1	2	3	4	5	6	7	8
↓	06:20	2	3	4	5	6	7	8	1
	06:40	3	4	5	6	7	8	1	2
	07:00	4	5	6	7	8	1	2	3
	07:40	5	6	7	8	1	2	3	4
	08:00	6	7	8	1	2	3	4	5
	08:20	7	8	1	2	3	4	5	6
Final dos censos	08:40	8	1	2	3	4	5	6	7
Censos avifaunísticos vespertinos									
Plots circulares amostrais									
Início dos censos	Hora	1ª semana	2ª semana	3ª semana	4ª semana	5ª semana	6ª semana	7ª semana	8ª semana
vespertinos	15:30	1	2	3	4	5	6	7	8
↓	15:50	2	3	4	5	6	7	8	1
	16:10	3	4	5	6	7	8	1	2
	16:30	4	5	6	7	8	1	2	3
	16:50	5	6	7	8	1	2	3	4
	17:10	6	7	8	1	2	3	4	5
	17:30	7	8	1	2	3	4	5	6
Final dos censos	17:50	8	1	2	3	4	5	6	7

Tabela 11. Metodologia de amostragem dos censos avifaunísticos e horários determinados para registros de aves à cada dois meses e meio no aeroporto Internacional Tancredo Neves.

Censos avifaunísticos matinais											
Plots circulares amostrais											
Início dos censos	Hora	1ª semana	2ª semana	3ª semana	4ª semana	5ª semana	6ª semana	7ª semana	8ª semana	9ª semana	10ª semana
matutinos	06:00	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
↓	06:20	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1
	06:40	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
	07:00	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
	07:40	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
	08:00	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5
	08:20	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
	08:40	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7
	09:00	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8

Final dos censos	09:20	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Censos avifaunísticos vespertinos											
Plots circulares amostrais											
Início dos censos	Hora	1ª semana	2ª semana	3ª semana	4ª semana	5ª semana	6ª semana	7ª semana	8ª semana	9ª semana	10ª semana
Vespertinos	14:50	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
↓	15:10	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1
	15:30	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
	15:50	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3
	16:10	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4
	16:30	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5
	16:50	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6
	17:10	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7
17:30	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	
Final dos censos	17:50	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabela 12. Espécies encontradas na área operacional do ACDA raras ou com poucos registros.

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatísticas	
			Controle	Experimental	Resposta	P	
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Patagioenas cayennensis</i>	2	0	.	.	
CAPRIMULGIFORMES	APODIDAE	<i>Sireptrocne zonaris</i>	3	4	.	.	
		<i>Amazilia fimbriata</i>	7	2	.	.	
		<i>Amazilia lactea</i>	3	0	.	.	
		<i>Chlorostilbon lucidus</i>	2	0	.	.	
CUCULIFORMES	CUCULIDAE	<i>Piaya cayana</i>	2	0	.	.	
GRUIFORMES	RALLIDAE	<i>Aramides saracura</i>	1	0	.	.	
PELECANIFORMES	THRESKIORNITHIDAE	<i>Phimosus infuscatus</i>	4	0	.	.	
SULIFORMES	ANHINGIDAE	<i>Anhinga anhinga</i>	1	0	.	.	
CHARADRIIFORMES	JACANIDAE	<i>Jacana jacana</i>	1	0	.	.	
STRINGIFORMES	STRINGIDAE	<i>Asio clamator</i>	1	1	.	.	
	TYTONIDAE	<i>Tyto furcata</i>	0	1	.	.	
ACCIPITRIFORMES	ACCIPITRIDAE	<i>Elanus leucurus</i>	4	1	.	.	
<i>Buteo brachyurus</i>		1	0	.	.		
PSITTACIFORMES	CACATUIDAE	<i>Nymphicus hollandicus</i>	1	2	.	.	
PASSERIFORMES	ICTERIDAE	<i>Gnorimopsar chopi</i>	0	1	.	.	
		<i>Tolmomyias sulphureus</i>	1	0	.	.	
		<i>Satrapa icterophrys</i>	1	1	.	.	
		<i>Polioptila dumicola</i>	1	1	.	.	
		<i>Serpophaga subcristata</i>	0	1	.	.	
		<i>Elaenia chiriquensis</i>	0	2	.	.	
		<i>Megarynchus pitangua</i>	1	1	.	.	
		<i>Myiarchus ferox</i>	4	4	.	.	
		<i>Myiophobus fasciatus</i>	1	0	.	.	
		<i>Synallaxis frontalis</i>	2	2	.	.	
		<i>Phacellodomus rufifrons</i>	7	3	.	.	
		PASSERELLIDAE	<i>Zonotrichia capensis</i>	2	0	.	.
		<i>Ammodramus humeralis</i>	1	2	.	.	
		CARDINALIDAE	<i>Cyanoloxia brissonii</i>	0	1	.	.
VIREONIDAE	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	6	0	.	.		

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Falcoaria	Estatísticas
			Controle	Experimental	Resposta	P
	THRAUPIDAE	<i>Sporophila caerulescens</i>	0	1	.	.
		<i>Saltator similis</i>	0	2	.	.
		<i>Schistochlamys ruficapillus</i>	2	0	.	.
		<i>Conirostrum speciosum</i>	0	1	.	.
	THAMNOPHILIDAE	<i>Taraba major</i>	2	0	.	.
	PARULIDAE	<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	1	2	.	.
	TURDIDAE	<i>Turdus amaurochallinus</i>	4	0	.	.
		<i>Turdus rufiventris</i>	2	0	.	.
	HIRUNDINIDAE	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	0	2	.	.
		<i>Progne chalybea</i>	0	7	.	.

Tabela 13. Espécies encontradas na área operacional do AITN raras ou com poucos registros.

Ordem	Família	Espécies	Abundância		Resposta	Estatística
			Control	Experimental	0-1	P
TINAMMIFORMES	TINAMMIDAE	<i>Nothura maculosa</i>	2	0	.	.
		<i>Rynchotus rufecens</i>	1	0	.	.
		<i>Crypturellus parvirostris</i>	1	0	.	.
ANSERIFORMES	ANATIDAE	<i>Dendrocygna viduata</i> **	1	0	.	.
COLUMBIFORMES	COLUMBIDAE	<i>Columba livia</i> *	1	0	.	.
CAPRIMULGIFORMES	APODIDAE	<i>Streptoprocne zonaris</i>	6	0	.	.
	THROCHILIDAE	<i>Amazilia fimbriata</i>	1	0	.	.
		<i>Amazilia versicolor</i>	1	0	.	.
		<i>Eupetomena macroura</i>	7	0	.	.
		<i>Phaethornis ruber</i>	0	1	.	.
CUCULIFORMES	CUCULIDAE	<i>Piaya cayana</i>	2	0	.	.
PELECANIFORMES	ARDEIDAE	<i>Egretta thula</i>	3	0	.	.
		<i>Ardea alba</i>	1	0	.	.
		<i>Bubulcus ibis</i>	6	1	.	.
		<i>Syrigma sibilatrix</i>	1	2	.	.
ACCIPITRIFORMES	ACCIPITRIDAE	<i>Heterospizias meridionalis</i>	0	1	.	.
		<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	0	3	.	.
		<i>Rupornis magnirostris</i>	4	6	.	.
PICIFORMES	PICIDAE	<i>Melanerpes candidus</i>	2	4	.	.
		<i>Picumnus cirratus</i>	2	1	.	.
PSITTACIFORMES	PSITTACIDAE	<i>Eupsittula aurea</i>	7	0	.	.
PASSERIFORMES	TYRANNIDAE	<i>Tyrannus savana</i>	5	1	.	.
		<i>Phyllomyias faciatus</i>	2	0	.	.
		<i>Myiothlypis flaveola</i>	0	3	.	.
		<i>Pitangus sulphuratus</i>	2	1	.	.
		<i>Elaenia flavogaster</i>	2	1	.	.
		<i>Myiarchus ferrox</i>	6	2	.	.
	FURNARIDAE	<i>Furnarius rufus</i>	1	2	.	.
		<i>Synallaxis cinereus</i>	1	0	.	.
		<i>Synallaxis frontalis</i>	2	2	.	.
		<i>Phacelodorus rufifrons</i>	1	0	.	.
	EMBEREZIDAE	<i>Emberezoides herbicula</i>	4	1	.	.
	VIREONIDAE	<i>Cyclarhis gujanensis</i>	0	1	.	.
	THRAUPIDAE	<i>Sporophila nigricollis</i>	1	2	.	.
		<i>Saltator similis</i>	0	1	.	.
		<i>Tangara cayana</i>	0	1	.	.
		<i>Tangara sayaca</i>	0	1	.	.
		<i>Thamnophilus caerulescens</i>	1	0	.	.
		<i>Thamnophilus torquatus</i>	1	2	.	.
	HIRUNDINIDAE	<i>Progne tapera</i>	1	2	.	.

7 CONCLUSÃO GERAL

O risco de colisão entre aves e aeronaves pode ser reduzido com o uso da falcoaria com o gavião-asa-de-telha (*Parabuteo unicinctus*) nos dois aeroportos de Belo Horizonte se executado corretamente. Esses achados podem representar uma economia de milhares de dólares às empresas da aviação além de representarem grande segurança aos tripulantes, reduzindo danos emocionais e sociais imensuráveis. As mudanças de comportamentos das aves que ocorrem nos aeroportos foram associadas ao stress de aumento de predação principalmente nas espécies com maior risco de colisões. Nos comportamentos estudados as mudanças foram notáveis, observamos a redução de forrageamento e, conseqüentemente, o aumento de vigilância pelos indivíduos, assim como o distanciamento, dispersão e, por fim, a diminuição da abundância das espécies.

O aumento de vigilância pode levar a conseqüências graves como a desnutrição pela diminuição do forrageamento, perda de massa corporal, redução da reprodução, menor tempo de incubação e de alimentação dos filhotes, perdas de ninhadas ou crescimento irregular dos filhotes. O distanciamento é uma estratégia anti-predação de economia de energia, pois a dispersão requer uma enorme quantidade energética. Na maioria das vezes, espécies preferem correr risco do que gastar energia, pois além da insegurança de sair de seu território também há possibilidade de ser predado em locais que os predadores são desconhecidos. Neste contexto, o corte de grama pode oferecer um aumento considerável de conspicuidade de recursos que pode modificar os padrões das populações, muitos indivíduos podem se arriscar mais, pela necessidade de alimentar-se. A possibilidade de matar a fome é uma necessidade imediata real, enquanto o risco de ser predado é apenas uma possibilidade. É possível que *C. plancus* tenha interações antagonistas com *P. Unicinctus*, mas a característica de predadores e de biomassas semelhantes não tenham interação entre predador e presa, portanto o “medo” de ser predado se torna pouco eficaz.

Adicionalmente incorporamos as análises do banco de dados de toda assembléia de aves dos aeroportos. De uma forma geral as espécies de aves respondem à falcoaria diminuindo suas abundâncias e modificando suas estratégias, para diminuir as possibilidades de

encontros com o predador. A heterogeneidade dos ambientes, a princípio, não parece afetar as respostas das aves à falcoaria, mas afeta modificando as composições de espécies diminuindo a riqueza e abundância de espécies. É interessante frisar que a falcoaria pode afetar principalmente as espécies mais abundantes, independente do comprimento e peso. No entanto, esses impactos tendem a diminuir com o aumento de densidade de indivíduos por bando, uma defesa anti-predação que pode mostrar ser significativa.

Nosso estudo aponta também que há correlação positiva entre a abundância de aves e colisões, portanto se há declínio das espécies mais abundantes, há redução nas colisões entre aeronaves.

O presente estudo demonstra a eficácia da falcoaria com *P. unicinctus* na diminuição de riscos de colisões associados a aves e aeronaves e a compreensão da base teórica da paisagem do “medo” aplicada ao manejo de fauna em dois aeroportos do Brasil. O aumento do risco de predação é uma forma eficiente e ecológica que demonstra que o “medo” de ser predado pode ser mais eficiente que a própria predação para fins de controle ou manejo de vida silvestre.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Estudo foi uma grande imersão na ecologia do medo, mostrando um outro lado da aplicabilidade das interações ecológicas.

As informações contidas nesta tese melhoram nossa compreensão dos efeitos de rapinantes nas assembleias de aves em aeroportos, mas ainda são necessários mais estudos de longo prazo para fornecer respostas mais claras dos impactos que o de risco de predação de *P. unicinctus* representa nas aves. A coleta de dados comportamentais pode ser um ganho no entendimento de detalhes de como as aves reagem à presença de rapinantes. Potenciais efeitos em cascata da supressão de espécies em níveis tróficos inferiores também seriam de grande interesse para enriquecer esse estudo.

Por fim talvez a única forma de manutenção e conservação de espécies predadoras seja a valorização de seus serviços ecológicos, mesmo que seja de forma artificial utilizando predadores para prover maior segurança entre aeronaves e aves, ou como no caso clássico



da reintrodução de lobos no Parque de *Yellowstone*, promovendo cascata trófica e aumento de diversidade de vida de modo geral (Ripple and Beschta, 2012)

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan JR (2000) The costs of bird strikes and bird strike prevention. *Human Conflicts with Wildlife: Economic Considerations* 18: 147-153. Available in <http://digitalcommons.unl.edu/nwrchumanconflicts/18/>.
- Altmann J (1974) Observational study of behavior: Sampling methods. *Behavior* 49: 227-267.
- ARRP (<https://www.animaethics.org.au/policies-and-guidelines/wildlife-research>).
- Atuo FA, O'Connell TJ (2017) The landscape of fear as an emergent property of heterogeneity: Contrasting patterns of predation risk in grassland ecosystems. *Ecology and Evolution* 7: 4782–4793.
- Bagyura, J., Haraszthy, L., Grof, S., Demeter, I., 2004. Comparison of Saker Falcon *Falco cherrug* predation during and after the breeding period. In: Chancellor, R.D., Meyburg, B.-U. (Eds.), *Raptors Worldwide*. Penti Kft, Budapest, pp. 673–677.
- Battistoni, V., Montemaggiore, A., Iori, P., 2008. Beyond falconry between tradition and modernity: A new device for bird strike hazard prevention at airports. In: *Proceedings of International Bird Strike Committee, IBSC Meeting and Seminario Internacional Perigo Aviario e Fauna*. Brasilia, pp 1–13. <[http:// www.int-birdstrike.org](http://www.int-birdstrike.org)>.
- Balanda KP, Macgillivray HL (1998) Kurtosis: A Critical Review. [The American Statistician](#) 42: 111-119.
- Bates D, Maechler M, Bolker B, Walker S (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software* 67: 01-48.
- Bates D (2017) *MixedModels.jl: A Julia package for fitting (statistical) mixed-effects models*. original-date: 2013-03-29T21:24:25Z.



- Baxter AT, Allan JR (2006) Use of Raptors to Reduce Scavenging Bird Numbers at Landfill Sites. *Wildlife Society Bulletin* 34:1163-1168.
- Bell JC (1999) The effects of changes in northern lapwing population on the bird strike hazard in the UK (1999). Bird Strike Committee-USA/Canada, First Joint Annual Meeting, Vancouver, BC Canada.
- Bleicher SS, (2017) The landscape of fear conceptual framework: definition and review of current applications and misuses. *PeerJ* 5:e3772; DOI 10.7717/peerj.3772.
- Bleicher SS, Brown JS, Embar K, Kotler BP (2016) Novel predator recognition by Allenby's gerbil (*Gerbillus andersoni allenbyi*): do gerbils learn to respond to a snake that can "see" in the dark? *Israel Journal of Ecology and Evolution* 1–8 DOI 10.1080/15659801.2016.1176614.
- Breuer, M (2005) Bird strike statistics of German aviation 2003–2004.
- Brown JS. 1999. Vigilance, patch use and habitat selection: foraging under predation risk. *Evolutionary Ecology Research* 1:49–71.
- Brown JS, Laundré JW, Gurung M (1999) The ecology of fear: optimal foraging, game theory, and trophic interactions. *Journal of Mammalogy* 80:385–399 DOI 10.2307/1383287.
- Brown JS, Kotler BP (2001) Ecology of Fear: foraging games between predators and prey with pulsed resources. *Annales Zoologici Fennici* 38:71-87.
- Brown JS, Kotler BP (2004) Hazardous duty pay and the foraging cost of predation. *Ecology Letters* 7: 999-1014.
- Buckland ST, Anderson DR, Burnham KP, Laake JL, Borchers DF (2001) *Introduction to Distance Sampling: Estimating Abundance of Biological Populations*. Oxford University Press, New York
- Caro TM (2005) *Antipredator Defenses in Birds and Mammals*. University of Chicago Press.
- Blumstein DT (2016) Habituation and sensitization: New thoughts about old ideas. *Animal Behaviour* 120: 255-262.



- Carvalho CEA, Marini MÂ (2007) Distributional patterns of raptors in open and forested habitats in Southeast Brazil and effects of urbanisation. *Bird Conservation International* 17: 367-380.
- Carvalho CEA, Figueiredo L, Figueira JEC, Fernandes GF, Grecco RV, Souza AHN (2016a) Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros. *Revista Conexão SIPAER* 1:47-67.
- Carvalho CEA, Figueiredo L, Teixeira CP, Figueira JEC, Dos Anjos L (2016b) A Comunidade de aves do Aeroporto Carlos Drummond Andrade/MG e suas Implicações para a Segurança Aeroportuária. *Revista Conexão SIPAER* 1:47-67.
- Chalcraft DR, Reserits WJ (2003) Predator identity and ecological impacts: functional redundancy or functional diversity. *Ecology* 84:2407–2418.
- Chamorro M, Clavero J (1994) Falconry for bird control on airdromes. *Bird Strike Committee Europe* 22:397-407.
- Childress MJ, Lung MA (2003) Predation risk, gender and the group size effect: does elk vigilance depend upon the behavior of conspecifics? *Animal Behavior* 66: 389-398.
- Civil Aviation Authority (2014a) CAP 772 Wildlife Hazard Management at Aerodromes. UK Civil Aviation Authority, London – England.
- Clinchy M, Sheriff MJ, Zanette Ly (2013) Predator-induced stress and ecology of fear. *Functional Ecology* 27:56-65
- Cleary EC, Wright SE, Dolbeer RA (2000) Wildlife strikes to civilian aircraft in the United States 1990-1999. Federal Aviation Administration, Washington, DC, USA.
- Crawley, M. J. (2002) *Statistical Computing. An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. Wiley. Chichester, England, UK.
- Cresswell W, Quinn JL (2013) Contrasting risks from different predators change the overall nonlethal effects of predation risk. *Behavioral Ecology* 24: 871–876.
- Cresswell W, Quinn JL (2011) Predicting the optimal prey group size from predator hunting behavior. *Journal of Animal Ecology* 80: 310–319.



- Cresswell W (2010) Empirical studies of predator and prey behaviour. in MD Breed & J Moore (eds) *The Encyclopedia of Animal Behaviour*. Elsevier.
- Cresswell W (2008) Non-lethal effects of predation in birds. *Ibis* 150: 3–17.
- Cresswell W, Quinn JL, Whittingham MJ, Butler S (2003) Good foragers can also be good at detecting predators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270:1069-1076.
- Crichton NJ (1998) Statistical considerations in design and analysis. In: Roe, B. , Webb, C. *Research and Development in Clinical Nursing Practice*. London: Whurr
- Cwiklak J, Grzegorzewski M, Adamski M (2015) Threats and Preventive Methods to Avoid Bird Strikes at the Deblin Military Airfield, Poland. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 9:12-16.
- Cleary EC, Dolbeer RA (2005) *Wildlife Hazard Management at Airports, a manual for airport operators*. Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, DC USA.
- Crawley, M. J. (2002) *Statistical Computing. An Introduction to Data Analysis using S-Plus*. Wiley. Chichester, England, UK.
- Crichton NJ (1998) Statistical considerations in design and analysis. In: Roe, B. , Webb, C. *Research and Development in Clinical Nursing Practice*. London: Whurr .
- Del Hoyo J, Collar NJ (2014) *Illustrated Checklist of the Birds of the World. Volume 1 (non-passerines)*. Lynx Edicions, Barcelona & BirdLife International, Cambridge.
- Dolbeer RA, Wright SE, John Weller J, Begier, MJ (2012) *Wildlife Strikes to Civil aircraft in the United States 1990-2010*. Wildlife strikes to civil aircraft in the United States, 1990-2010. Serial Report No. 17. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Office of Airport Safety and Standards, Washington, DC, USA.



- Figueroa R. A. R. & González-Acuña, D., 2006. Prey of the Harris' Hawk (*Parabuteo unicinctus*) in a suburban area of southern Chile. *Journal of Raptor Research*. 40. 164-168.
- Guedes FL, Brand DH, Linhares BP, De Paiva LV (2010) Avifauna Relacionada ao Risco de Colisões Aéreas no Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek, Brasília, Distrito Federal, Brasil. *Conexão SIPAER* 2: 230-243.
- Halofsky JS, Ripple WJ (2008) Fine-scale predation risk on elk after wolf reintroduction in Yellowstone National Park, USA. *Oecologia* 155: 869-877.
- Hammer O, Harper D, Ryan P (2001) PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4:1-9.
- Hart D, Sussman RW (2005). *Man the hunted: Primates, predators, and human evolution*. New York: Westview.
- Heighway, DG, (1969) Falconry in Royal Navy. *Proceedings of World Conference on Bird Hazards at Airports*. Kingston. Ontario, pp. 359–371.
- Henry LM, Bannerman JA, Gillespie DR, Roitberg BD (2010) Predator identity and the nature and strength of food web interactions. *Journal of Animal Ecology* 79:1164–1171.
- Hunter LTB, Skinner JD (1998) Vigilance behavior in African ungulates: the role of predation pressure. *Behavior* 135:195-211.
- Jacoby V (1998) Analysis of bird-strikes to ex-Soviet Union Air Force in East Germany, 1970–1981, 1985–1991. In: *Proceedings of International Bird Strike Committee, IBSC 24/WP 5*, Stara Lesna, pp. 1–11. <<http://www.int-birdstrike.org>>.
- Janosov M, Virágh C, Vársárhelyi G, Vicsek T (2017) Group chasing tactics: how to catch a faster prey. *New Journal of Physics* 19: 01-16.
- Joanes DN, Gill CA (1998) Comparing measures of sample skewness and kurtosis. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D* 47: 183-189.
- Kitowski I (2014) The response of Eurasian kestrel *Falco tinnunculus* to falconry at Deblin Military Airfield, East Poland. *Turkish Journal of Zoology* 38:298-305.



- Kitowski I (2011) Civil and Military Birdstrikes in Europe: An Ornithological Approach. *Journal of applied Sciences* 2: 183-191.
- Kitowski I, Grzywaczewski G, Cwiklak J, Grzegorzewski M, Krop S (2011) Falconer activities as a bird dispersal tool at Deblin Airfield (E Poland). *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16: 82-86.
- Konietschke F, Bathke AC, Harrar SW, Pauly M (2015) Parametric and nonparametric bootstrap methods for general MANOVA. *Journal of Multivariate Analysis* 140:291-301.
- Krupka, R., 2000. Collision of the Czech Air Forces Aircraft with birds during 1993–1999. In: *Proceedings of International Bird Strike Committee, IBSC25/WP- SA7*, Amsterdam, pp. 159–168. <<http://www.int-birdstrike.org>>.
- Larson VL, Rowe SP, Breininger DR (1994) A review of falconry as a bird control technique with recommendations for use at the shuttle landing facility, John F. Kennedy Space Center, Florida, USA.
- Laundré JW, Hernandez L, Ripley WJ (2010) The Landscape of Fear: Ecological Implication of being Afraid. *The Open Ecology Journal* 3:1–7.
- Laundré JW, Hernández L, Altendorf KB (2001) Wolves, elk, and bison: reestablishing the “landscape of fear” in Yellowstone National Park, USA. *Canadian Journal of Zoology* 79: 1401-1409.
- Lehner PN (1992) Sampling methods in behavior research. *Poultry Science* 71:643-649.
- Lee JM, Hwang K (2013) Minimal Safe Distance of Prey for Predator. *Advanced Science and Technology Letters* 43: 123-126
- Lima SL, Blackwell BF, DeVault TL, Fernandez-Juricic E (2015) Animal reactions to oncoming vehicles: a conceptual review. *Biological Reviews* 90:60–76.
- Lima SL, Dill LM (1990) Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology* 68: 619-640.



- Lima SL, Bednekoff PA (2011) On the perception of predator targeting during attacks on socially feeding birds. *Animal Behavior* 82:535-542.
- Lüdecke D (2017) sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science. R package version 2.3.1, <https://CRAN.R-project.org/package=sjPlot>.
- MacKinnon B, Sowden R, Russell K, Dudley S (2004) *Sharing the Skies: An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards*. Transport Canada, Aerodrome Safety Branch, Publication TP 13549, Ottawa, Ontario
- Marateo G, Grilli P, Bouzas N, Ferretti V, Juarez M, Soave GE (2015) Habitat by use in Airports: A Case and Its Implications for Bird Management in South American Airports. *Applied Ecology and Environmental Research* 13:799-808.
- Martin TE (2011) The cost of fear. *Science* 334:1353-1354.
- Martos JFA and Madeira F (2013) Análise das Medidas de Controle do Perigo Aviário. Em: 6º Simpósio de Segurança de Voo (SSV 2013): 1000-1014.
- Megan AO, Swaisgood R, Blumstein D (2016) Contextual influences on animal decision-making: Significance for behaviour-based wildlife conservation and management. *Integrative Zoology* 12:32-38
- Mearns, R., 1983. The diet of the Peregrine *Falco peregrinus* in south Scotland during the breeding season. *Bird Study* 30, 81-90. Milkiewicz, A., 1967. Birds and flight safety. *Przegląd Wojsk Lotniczych i Obrony Powietrznej Kraju* 8, 25-35 (in Polish).
- Mendonça FAC (2009) Gerenciamento do Perigo Aviário em Aeroportos. *Revista Conexão SIPAER* 1:153-174.
- Murar, B., 1994a. Analysis of bird strikes with military airplanes in Czechoslovak People Army from April 1987 to December 1992. In: *Proceedings of Bird Strike Committee Europe, BSCE 22/WP-24*, Vienna, pp. 169-174. <<http://www.int-birdstrike.org>>.



- Novaes WG, Alvarez MRDV (2010) O Perigo aviário em aeroportos do nordeste do Brasil: Análise das colisões entre aves e aviões entre os anos de 1985 e 2009. *Revista Conexão SIPAER* 1: 47-67.
- Oliveira HRB, Silva JP, Santos LCB, Novaes WG (2017) Colisões com fauna significativas registradas no Brasil até dezembro 2016. *Centro de Investição e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos*.
- Petty, S.J., Anderson, D.I.K., Davisom, M., Little, B., Sherratt, T.N., Thomas, C.J., Lambin, X., 2003. The decline of Common Kestrel *Falco tinnunculus* in a forested area of northern England: the role of predation by Northern Goshawk *Accipiter gentilis*. *Ibis* 145, 472–483.
- Quinn JL, Cresswell W (2012) Local prey vulnerability increases with multiple attacks by a predator. *Oikos* 121:1328–1334.
- Quinn JL, Cresswell W (2004) Predator hunting behaviour and prey vulnerability. *Journal of Animal Ecology* 73: 143–154.
- Ralph CJ, Sauer JR, Droege S (1995) Monitoring Bird Populations by Point Counts. www.rsl.psw.fs.fed.us/projects/wild/gtr149/gtr_149.html.
- Ripple JW and Beschta RL (2012) Trophic cascades in Yellowstone: The first 15 years after wolf reintroduction. *Biological Conservation* 145(1): 2015-213.
- Rosenstock SS, Anderson DR, Giesen, KM, Leukering, T, Carter, MF (2002) Landbird counting techniques: Currents practices and an alternative. *Auk*, 119: 46-56.
- Rushen J (2000) Some issues in the interpretation of behavioural responses to stress. In: Moberg GP, Mench JA, Eds. *The Biology of Animal Stress Basic Principals and Implications for Animal Welfare*. Oxon, UK, CABI Publishing.
- Rutz, C., 2003. Assessing the breeding season diet of goshawks *Accipiter gentilis*: biases of plucking analysis quantified by means of continuous radio- monitoring. *Journal of Zoology* 259, 209–217.



- Sauer JR, Hines JE, Fallon J *et al.* (2001). The North American Breeding Bird Survey, Results and Analysis 1966-2000. Version 2001.2 USGS Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, MD.
- Sick H (1997) Ornitologia Brasileira. Nova Fronteira, São Paulo, Brasil.
- Sinclair ARE, Fryxell JM, Caughley G (2006) Predation in Wildlife Ecology, Conservation and Management. Blackwell Scientific Publications, Malden, USA.
- Sirot E (2007) Game theory and the evolution of fearfulness in wild bird. *Journal of Evolutionary Biology* 20:1809–1814.
- Skinner BF (1966) What is the experimental analysis of behavior? [Journal of the Experimental Analysis of Behavior](#) 9:213–218.
- Sodhi NS (2002) Competition in the air: Birds versus Aircraft. *The Auk* 119: 587–595
- Sutherland, WJ, Newton I, Green R.E (2004) Bird ecology and conservation: a handbook of techniques. Oxford: Oxford University Press.
- Soldatini C, Georgalas V, Torricelli P, Albores-Barajas, YV (2010) An ecological approach to bird strike analysis. *European Journal of Wildlife Research*. doi: 10.1007/s10344-009-0359-z.
- Solman, VEF (1973) Birds and aircraft. *Biol. Conserv* 5:79-86.
- Suraci JP, Clinchy M, Dill LM, Roberts D, Zanette LY (2016) Fear of large carnivores causes a trophic cascade. *Nature Communications* 7:Article 10698 DOI 10.1038/ncomms10698.
- Sutherland, WJ, Newton I, Green R.E (2004) Bird ecology and conservation: a handbook of techniques. Oxford: Oxford University Press.
- Thaker M, Vanak AT, Owen CR, Ogden MB, Niemann SM, Slotow R (2011) Minimizing predation risk in a landscape of multiple predators: Effects on the spatial distribution of African ungulates. *Ecology* 92: 398–407.



- Thiériot E, Patenaude-Monette M, Molina P, Giroux J-F(2015). The Efficiency of an Integrated Program Using Falconry to Deter Gulls from Landfills. *Animals : An Open Access Journal from MDPI*, 5(2), 214–225. <http://doi.org/10.3390/ani5020214>.
- Thorpe J (2012) 100 Years of Fatalities and Destroyed Civil Aircraft due to Bird Strikes. 30th Meeting of the International Bird Strike Conference, Stavanger, Norway.
- Travaini A, Donazar JA, Ceballos O, Hiraldo F (2001) Food habits of the Crested Caracara (*Caracara plancus*) in the Andean Patagonia: the role of breeding constraints *Journal of Arid Environments* 48: 211–219.
- Vargas RJ, Bo MS, FAVERO M (2007) Diet of the Southern Caracara (*Caracara plancus*) in Mar Chiquita Reserve, Southern Argentina. *Journal of Raptor Research* 41:113–121.
- 1994 Welp T, Rushen J, Kramer DL, Festa-Bianchet M, De Passillé A (2004) Vigilance as a measure of fear in dairy cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 87:1-13.
- Wickham H, Chang W (2016) Create Elegant Data Visualizations Using the Grammar of Graphics - Package ‘ggplot2’.
- Woodcock BA, Heard MS (2011) Disentangling the effects of predator hunting mode and habitat domain on the top-down control of insect herbivores. *Journal of Animal Ecology* 80:495–503.
- Wright SE, Dolbeer RA (2005) Percentage of wildlife strikes reported and species identified under a voluntary system. in *Proceedings of Bird Strike Committee USA/Canada meeting*, Vancouver, B.C., Canada.



9 ANEXO I

Artigo publicado na Revista CONEXÃO SIPAER:

Carvalho CEA, Figueiredo L, Figueira JEC, Fernandes GF, Grecco RV, Souza AHN
(2016) **Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros.**
7(1):89-96

<http://conexasipaer.cenipa.gov.br/index.php/sipaer/article/view/388>

Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros

Carlos Eduardo Alencar Carvalho¹, Ludmilla Figueiredo², Camila Palhares Teixeira³, José Eugênio Côrtes Figueira⁴, Luciana dos Anjos⁵

1 UFMG

2 Msc. Sciences

3 UNIFEMM - Centro Universitário de Sete Lagoas – MG

4 UFMG/ICB

5 Bacharel em Biologia UNIFEMM

RESUMO: A presença de aves em aeroportos e seus entornos tem contribuído para o aumento dos riscos de acidentes para aviação civil e militar em todo o mundo. Neste estudo, analisou-se como esses fatores estão associados à ocorrência de colisões entre aves e aeronaves e suas possíveis interações. Para isso, foram contrastados 4323 registros de acidentes e avistamentos em 166 aeroportos situados em diferentes biomas do Brasil entre 2011 e 2012. A partir de análise de correspondências múltiplas (ACM), identificou-se que os acidentes são mais frequentes que os avistamentos nas regiões Sul e Centro-Oeste do Brasil, não estão necessariamente associados a maiores densidades populacionais, geralmente ocorrem quando o tempo está encoberto, em meses chuvosos, entre o entardecer e a alvorada e envolvendo espécies sinantrópicas, insetívoras ou onívoras. Com base nessas conclusões, são propostas princípios de manejo que visam minimizar os dois tipos de resposta que devem ser consideradas para a customização de projetos específicos. Esses princípios são discutidos para as oito espécies mais frequentemente envolvidas nas colisões analisadas, identificadas através da análise de Pareto.

Palavras chave: Risco Aviário, Manejo de Fauna, Ecologia do Medo, Habituação.

Characterization of Bird-Aircraft Collisions in Brazilian Aerodromes

ABSTRACT: The presence of birds in airports and their surroundings has contributed to the increase in the risk of accidents in civil and military aviation worldwide. This study analyzes the way these factors are associated with the occurrence of bird-strike events and the possible interactions between them. With this in mind, records of 4,323 accidents and sightings between 2011 and 2012 in 166 airports located in different biomes of Brazil were confronted. By means of a multiple-correspondence analysis, the study identified the following: accidents are more frequent than sightings in the Southern and Midwestern regions of the country; accidents are not necessarily associated with higher population density; accidents usually occur when in rainy months, the sky is overcast, between the sunset and dawn, and involving synanthropic, insectivorous, or omnivorous species. Based on these conclusions, handling principles are proposed which aim at minimizing the two types of response to be considered for the customization of specific projects. Such principles are discussed for the eight species more frequently involved in the collisions analyzed, which were identified through the Pareto's analysis.

Key words: Avian Hazard. Fauna Handling. Fear Echology. Habituation.

Citação: Carvalho, CEA, Figueiredo, L, Teixeira, CP, Figueira, JEC, Anjos, L. (2016) Caracterização das colisões entre aves e aeronaves nos aeródromos brasileiros. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 7, No. 1, pp. 89-96.

1 BIOGRAFIA

Carlos Eduardo Alencar Carvalho

Doutorando em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (ECMVS) em Eficiência de Falcoaria e manejo de fauna em Aeroportos do Brasil. Possui graduação em Ciências Biológicas e Mestrado em Zoologia pela PUC-MG (2000 e 2004). Fundador e Ex-presidente da S.O.S. Falconiformes Centro de Conservação de Rapinantes (1998 a 2005), Diretor do Instituto Pro-Raptor de Pesquisa e desenvolvimento (2015-Atual), Diretor Técnico da Biocev Projetos inteligentes (2013-Atual) e em 2014. Tem experiência em Zoologia e Ecologia Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: Manejo e Conservação de Rapinantes, Falcoaria para Controle de Fauna, biologia reprodutiva de rapinantes in situ e ex situ.

Ludmilla Figueiredo

Master of Sciences em Modelagem em Ecologia pela Université de Rennes 1, França. Bióloga graduada pela Universidade Federal de Minas Gerais. ludmillafi@gmail.com

Camila Palhares Teixeira

Doutora em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre pela UFMG. Possui graduação em Ciências Biológicas (1999) e mestrado em Zoologia de Vertebrados pela Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais (2004). Atualmente trabalha no Centro Universitário de Sete Lagoas - UNIFEMM como professora permanente do mestrado de Biotecnologia e Gestão da Inovação e na Graduação em Ciências Biológicas, coordenadora institucional ciência sem fronteiras e de pesquisa e iniciação científica. Na UFMG é professora colaboradora do

Programa de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do IGC-UFMG. Tem experiência em Escolas de Ensino médio e fundamental, e na área de Ecologia, com ênfase em Ecologia Urbana.

José Eugênio Côrtes Figueira

Doutorado em Ecologia pela Universidade Estadual de Campinas (1998). Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (1984), Mestre em Ecologia pela Universidade Estadual de Campinas (1989). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Minas Gerais. Tem experiência nas áreas de Ecologia de população e ecologia de comunidades, com ênfase em vegetação de campos rupestres, ecologia do fogo e comunidades animais.

Luciana dos Anjos

Bacharel em Biologia pela Centro Universitário de Sete Lagoas - UNIFEMM

2 INTRODUÇÃO

Há décadas, a presença de aves, principalmente em grandes concentrações, em aeroportos e seu entorno tem contribuído para o aumento dos riscos para aviação civil e militar em todo o mundo (Dolbeer, 2006). O problema do perigo aviário não é historicamente recente, sendo o primeiro registro oficial de uma colisão ocorrido em 03 de abril de 1912, com a queda do avião do piloto americano Calbraith Perry Rogers. A partir da década de 1950, quando as aeronaves passaram a ser movidas por turbinas, tornando-se mais rápidas e com sucção de ar, aumentaram os acidentes entre aves e aeronaves (Allan, 2000, Mendonça, 2005). Desde então, diversos aviões, incluindo grandes jatos de transporte foram perdidos, e centenas de pessoas faleceram. De acordo com Mendonça (2009), os gastos anuais das principais empresas de transporte aéreo devido ao perigo aviário superam seis milhões de dólares. A despeito dos esforços de organizações públicas, civis e militares voltadas para o controle do perigo aviário, verifica-se que, ao longo dos anos, houve um aumento no número de colisões reportadas.

Os aeroportos representam muitas vezes locais atrativos com recursos disponíveis para algumas espécies de animais, principalmente aves adaptadas a áreas abertas e campestres (Marateo et al. 2011). Ampliando esses atrativos, as edificações e árvores ao redor de várias espécies e alturas, adicionam recursos alimentares, locais de nidificação e repouso (Froneman, 2000; Sodhi, 2002).

O risco imposto pelas aves à segurança das aeronaves vem sendo tratado em diversos eventos internacionais como os encontros anuais World Birdstrike Association Conference, Bird Strike Committee – USA Meeting. O Brasil, através do CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) e da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), tem enviado representantes a estes encontros. Atualmente, a possibilidade de uma aeronave ser “abatida” por uma ave ou um bando de aves é de amplo conhecimento público, especialmente após a aterrissagem forçada de uma aeronave da

companhia US Airways, com 155 passageiros a bordo, no Rio Hudson, em 15 de janeiro de 2009 (CENIPA, 2011).

Entender os perigos das colisões entre a fauna e aeronaves é de fundamental importância para desenvolvimento de programas de manejo e controle eficientes (Devault, et al. 2011). Assim, o objetivo deste estudo é identificar os principais fatores associados à ocorrência de colisões entre aves e aeronaves no Brasil e propor princípios gerais de manejo visando reduzir os riscos de colisões.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Coleta e tratamento de dados

O CENIPA disponibiliza em sua página eletrônica, www.cenipa.aer.mil.br, o “Reporte de Eventos de Interesse com Fauna” (Ficha CENIPA 15), onde profissionais da aviação podem registrar colisões, quase-colisões e avistamentos de aves como parte do Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário (Sigra). Para este trabalho foram recuperados todos os reportes registrados em 166 aeroportos do Brasil, entre janeiro de 2011 e dezembro de 2012. Além do tipo de evento, a Ficha CENIPA 15 comporta informações da espécie animal envolvida, horário e condições climáticas, o tipo de aeronave e danos sofridos. Para complementar essas informações, recuperamos dados a respeito do aeródromo (movimento de aeronaves, região brasileira e densidade populacional do município onde ele se encontra, índice de desenvolvimento humano municipal e estadual, clima e bioma) e da espécie em questão, guilda alimentar (Root, 1967).

3.2 Análise dos dados

A Análise de Correspondências Múltiplas (ACM) é uma extensão da análise de correspondências que permite a verificação de associações entre variáveis categóricas dependentes. Esta análise pode também ser entendida como uma generalização da Análise de Componentes Principais (ACP) para variáveis categóricas (Abdi & Valentin 2007, Borcard et al. 2011). No presente estudo, variáveis quantitativas foram recodificadas como variáveis qualitativas, e as associações entre estas variáveis e suas categorias são evidenciadas por suas proximidades no plano fatorial.

No presente estudo, cada evento de colisão ou avistamento de ave (equivalente a um indivíduo, nesse caso) foi caracterizado pelas informações registradas no reporte (variáveis). Como visamos realizar um diagnóstico do risco aviário nos aeroportos brasileiros e propor estratégias para diminuí-lo, focamos tais análises nos aeroportos onde as colisões são mais frequentes e nas espécies que mais se envolvem nesses acidentes. Como é comum a todas as análises multivariadas, o excesso de variáveis pode mascarar padrões e correlações, devido ao excesso de variância a ser explicada. Sendo assim, incluímos na ACM variáveis que simplificam e/ou eliminam outras informações contidas no formulário (por exemplo: “Período do dia” – uma variável qualitativa – categoriza a variável “Horas” – uma variável quantitativa em quatro categorias; a variável “Guilda” tem menos categorias, portanto, simplifica a variável “Espécie” ao mesmo tempo em

que a expande, ao permitir inferências sobre a ecologia das mesmas). As sete variáveis incluídas, e suas categorias, estão listadas na Tabela 1. Devido ao nível de detalhamento do relatório e ao caráter independente das submissões, vários relatórios recuperados estavam incompletos. Para a presente análise, imputamos a variável que descreve a condição do céu

no dia do acidente (Céu) em 585 registros onde esta não havia sido informada. Como sugerido pelos desenvolvedores do pacote de análises do software estatístico R “FactoMineR” (Husson et al. 2015), fizemos uma imputação múltipla de dados categóricos, anterior à realização da ACM.

Tabela 1 - Variáveis incluídas na Análise de Múltiplas Correpondências e suas respectivas categorias.

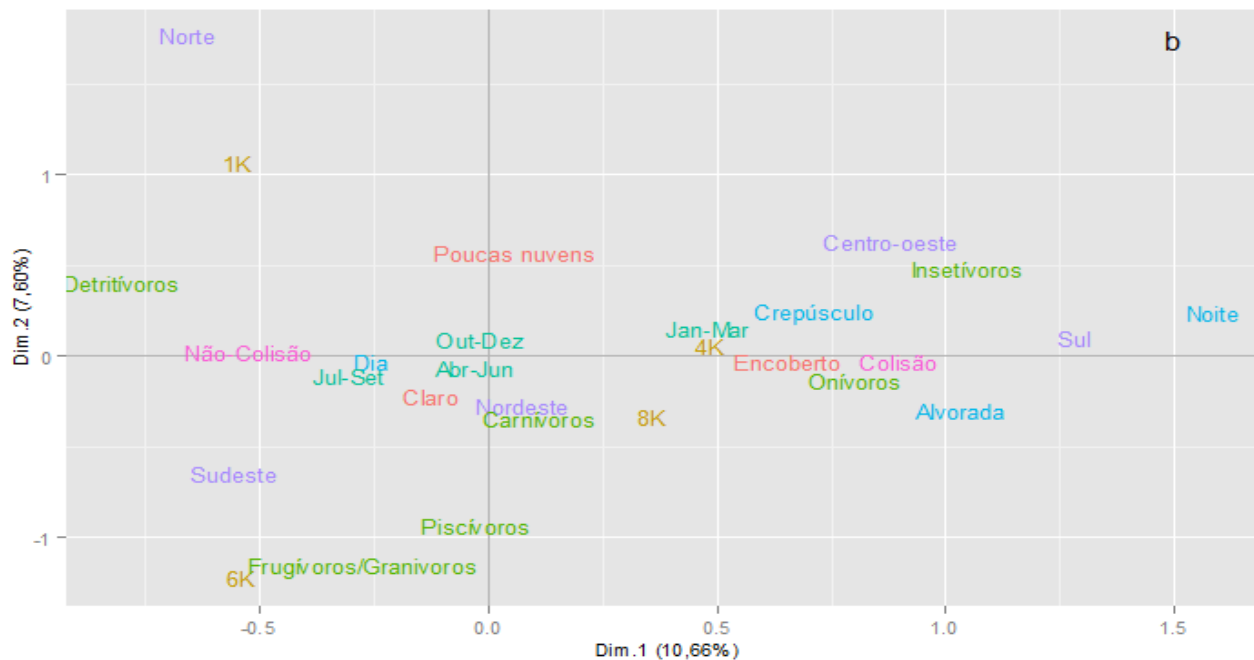
Variável	Categorias
Tipo de reporte	Colisão, não-colisão
Período do dia	Alvorada, dia, crepúsculo, noite
Região	Norte, nordeste, centro-oeste, sudeste, sul
Densidade da cidade	0.1 a 1000 (1K), 1001 a 4000 (4K), 4001 a 6000 (6K), > 6000 (8K) hab/km
Céu	Claro, encoberto, poucas nuvens
Guilda	Carnívoros, detritívoros, frugívoros/granívoros, insetívoros, onívoros, piscívoros
Mês*	Janeiro-Março, Abril-Junho, Julho-Setembro, Outubro-Dezembro

As associações verificadas na ACM guiaram análises mais detalhadas de fatores relacionados a colisões. Além disso, para determinar quais seriam as espécies mais perigosas, foi utilizado o princípio de Pareto, segundo o qual, tipicamente, 20% das causas são responsáveis por 80% dos efeitos.

Além da ACM e da imputação, o software R (R Core Team, 2014) também foi utilizado para todas as análises (pacote básico R), para manipulação dos dados (pacotes “tidyr” (Wickham, 2014) e “plyr” (Wickham, 2011)) e para construção das figuras (pacote “ggplot2” (Wickham, 2009)).

4 RESULTADOS

De janeiro de 2011 a dezembro de 2012, 4323 reportes foram registrados em 166 aeroportos brasileiros. Destes, 1592 relatavam colisões. Neste estudo, analisamos os dois primeiros eixos de projeção, que juntos explicam 18,26% da inércia total dos dados e somente as relações entre categorias, uma vez que projeção dos indivíduos é homogênea, sem a formação de grupos distintos (Fig. 1).



a Tipo de evento **a** Período do dia **a** Região **a** Densidade da cidade **a** Céu **a** Guilda **a** Trimestre

Figura 1: Projecção das categorias das variáveis nos dois primeiros eixos. Categorias de uma mesma variável foram representadas com a mesma cor.

No primeiro eixo (Dim.1 na Figura 1-b), a oposição entre os tipos de evento, colisão e avistamentos simples (não-colisão) é o aspecto mais notável da ACM (Fig. 1-b), ainda que todas as variáveis tenham contribuído para sua construção. Já no

segundo eixo (Dim.2), “Tipo de evento” é a única variável que não foi bem representada. As colisões parecem ser mais frequentes nas regiões Centro-Oeste e Sul, durante o primeiro trimestre do ano (Janeiro-Março), em períodos mais escuros do

dia ou quando o céu está encoberto e em cidades com densidade mediana (4K), envolvendo espécies insetívoras e onívoras são as mais associadas aos acidentes. Eventos de avistamentos simples (não-colisão), por sua vez, seriam mais frequentes entre Julho e Setembro, durante o dia, envolvendo espécies carniceiras.

A partir destes resultados, a análise detalhada da quantidade média de colisões e não-colisões ao longo do ano revela que colisões são ligeiramente mais frequentes durante o primeiro trimestre. Então, a maior associação entre ambos parece ser, na verdade, resultado do aumento do número médio de não-colisões nos segundo e terceiro trimestres, especialmente no terceiro, quando o número de colisões apresentou a maior baixa (Figura 2-a).

Similarmente, espécies insetívoras e onívoras aparecem mais associadas a colisões, mesmo tendo sido responsáveis por um número total de colisões menor que carnívoras e

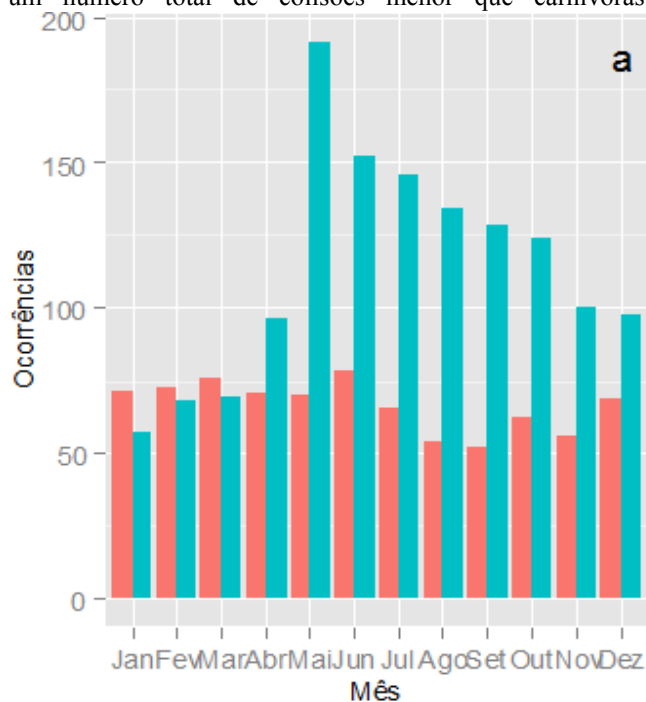
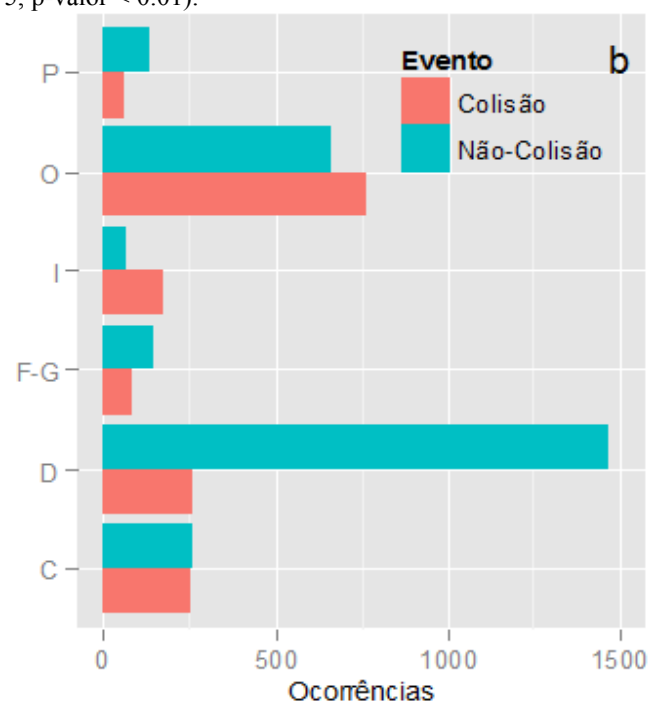


Figura 2: a) Número médio de colisões e não-colisões por mês em todo o Brasil. b) Quantidade total de ocorrências envolvendo espécies de diferentes guildas entre 2011 e 2012: piscívoros (P), onívoros (O), insetívoros (I), frugívoros/granívoros (F/G), detritívoros (D), carnívoros (C).

O movimento dos aeródromos não foi incluído na ACM, porém, dada a associação entre valores medianos de densidade das cidades e colisões, suas correlações foram investigadas posteriormente. O porte da cidade (densidade demográfica) e de seu aeródromo (movimento médio anual) são positivamente correlacionados à probabilidade de colisões, calculada como a proporção do total de avistamentos que resulta em colisões ($\rho = 0.34$, p-valor < 0.01 para densidade e $\rho = 0.47$, p-valor < 0.001 para movimento anual). Por sua vez, o movimento médio é correlacionado negativamente à quantidade média anual de colisões ($\rho = -0.38$, p-valor < 0.005).

Em virtude da relação verificada entre o número de colisões, a densidade do município e, especialmente, o movimento do aeródromo, analisamos em detalhes aqueles onde ocorreram mais de dez ou mais colisões a cada 10.000 movimentos de aeronaves (Tabela 2- Seção A). É interessante observar que as características associadas a esses aeroportos não refletem

detritívoras, que seriam pouco associadas, segundo a projeção da ACM (Fig. 2-b). Isso parece resultar da quantidade absoluta de colisões ter sido consideravelmente maior que o de avistamentos simples para insetívoras (172 colisões e 68 não-colisões) e onívoras (766 colisões e 658 não-colisões), enquanto que para carniceiros, aconteceu o inverso (257 colisões e 1470 não-colisões), e para carnívoras, a quantidade de ambas é similar (252 colisões e 255 não-colisões - Fig. 2-b). Porém, a análise parece ter falhado em detectar a diferença da distribuição de frequências das guildas em eventos de colisão e não-colisão: a quantidade de não-colisões é maior que a de colisões, fazendo com que comparações de frequências absolutas possam ser enganosas. Assim, através de teste do qui-quadrado, foi possível verificar que, além de insetívoros e onívoros, o número de carnívoros e detritívoros envolvidos em colisões é significativamente maior (X-squared = 698.12, df = 5, p-valor < 0.01).



exatamente as associações observadas na ACM: das oito cidades, quatro estão no Nordeste, e todas apresentam densidade próximas ou menores que 1000 hab/km². Por isso, analisamos também os oito aeroportos com maior quantidade absoluta de colisões entre 2011 e 2012 (Tabela 2- Seção B). Essa lista apresenta resultados mais condizentes com as associações indicadas pela ACM: centros urbanos de tamanho médio (dos oito, seis são capitais de estados) e quatro cidades pertencentes à região Sul do Brasil. Joinville e Navegantes aparecem nas duas listas, mas em posições diferentes: em 1º e 4º lugares na primeira lista, e em 5º e 4º, respectivamente, na segunda. Bioma e zona climática foram incluídos nessa tabela por serem relevantes para a interpretação do comportamento das aves no entorno dos aeroportos em questão. As colisões se mostram mais comuns em aeroportos localizados em regiões de transição entre o Cerrado e outros biomas, nos Pampas gaúchos, e na Mata Atlântica que correspondem aos climas tropical sazonal, temperado úmido e tropical úmido.

Tabela 2: Aeroportos com maiores frequências de colisões. *Seção (A):* Aeroportos com frequência relativa de colisões maior que 10 colisões a cada 10^4 movimentos. *Seção (B):* Oito aeroportos com o maior número absoluto de colisões entre 2011 e 2012. Siglas de ICAO em negrito são dos aeroportos que aparecem em ambas listas.

Registro OACI	Movimento anual médio	Colisões	Cidade, Região	Densidade (hab/km ²)	Bioma	Zona climática
Seção A						
SBJV	10667,75	33,27	Joinville, Sul	449,3	Mata Atlântica	Cfb
SBUG	535,25	28,02	Uruguaiana, Sul	21,95	Pampa	Cfa
SBCR	1969,25	17,77	Corumbá, Centro-oeste	1,6	Cerrado e Pantanal	Aw
SBNF	22525,25	16,42	Navegantes, Sul	543,29	Mata Atlântica	Cfa
SBJU	7706	16,22	Juazeiro do Norte, Nordeste	1006,91	Caatinga	As
SBTE	17475,5	12,87	Teresina, Nordeste	584,95	Cerrado e Caatinga	Aw
SBPL	6752,25	12,58	Petrolina, Nordeste	64,49	Caatinga	BSh
SBPB	1722,25	11,61	Parnaíba, Nordeste	334,52	Cerrado e Caatinga	As
Seção B						
SBBR	188528 *	109	Brasília, Centro-oeste	444,07	Cerrado	Aw
SBPA	93085,25	87	Porto Alegre, Sul	2837,52	Pampa	Cfa
SBSV	108490,8	79	Salvador, Nordeste	3859,35	Mata Atlântica	Af
SBNF	22525,25	74	Navegantes, Sul	543,29	Mata Atlântica	Cfa
SBJV	10667,75	71	Joinville, Sul	449,3	Mata Atlântica	Cfb
SBCT	81469,25	64	Curitiba, Sul	4024,84	Mata Atlântica	Cfb
SBGL	148781,5 *	63	Rio de Janeiro, Sudeste	5265,81	Mata Atlântica	Aw
SBSP	210555,5	58	São Paulo, Sudeste	7388	Mata Atlântica	Cfb

(*) Movimento de 2011(SBBR) e valor médio de 2011-2012 (SBGL).

Ao avaliar quantas e quais são as espécies responsáveis por 80% das colisões observadas entre 2011 e 2012, verifica-se que 61 espécies se envolveram em acidentes e em 136 reportes, as espécies não identificadas sendo, portanto, descartada da análise. *Vanellus chilensis*, *Coragyps atratus*, *Caracara plancus*, *Athene cunicularia*, *Columba livia*, *Chordeiles nacunda*, *Tyto alba* e *Pitangus sulphuratus* (cerca de 13% do total de espécies) estiveram envolvidas em 81,25% acidentes.

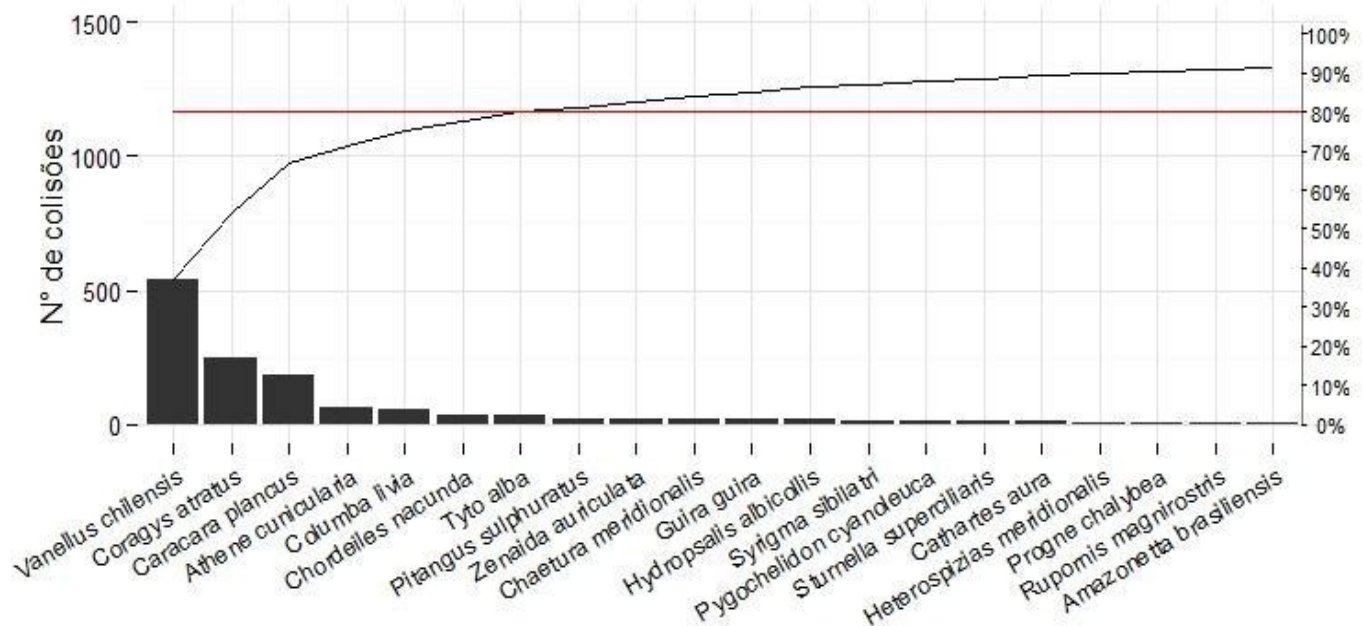


Figura 3: Diagrama de Pareto das 20 espécies de aves mais frequentemente envolvidas em colisões. O segmento vermelho marca o limiar de 80% do total de colisões.

5 DISCUSSÃO

As colisões no Brasil resultam, principalmente, de dois padrões de habituação de espécies silvestres ao território do aeródromo: algumas espécies percebem a pista como uma extensão de seu habitat com farta oferta de alimento (Sodhi, 2002; Baxter, 2006), onde se habitam rapidamente tornando-se desatentas ao seu entorno (Baxter & Allan 2008); para outras, o forte contraste entre a pista e seu habitat natural dificulta a habituação.

As espécies mais frequentes em colisões pertencem ao primeiro grupo: espécies “sinantrópicas”, ou seja, se adaptam bem a ambientes antropizados e abertos, semelhantes às áreas operacionais aeroportuárias. É o caso de *V. chilensis*, *C. plancus*, *A. cunicularia*, *C. livia* e *P. sulphuratus*. Em aeroportos que foram construídos em ambientes savânicos ou campestres, onde estas espécies já estão presentes, como no Cerrado e nos Pampas, o custo da habituação com as peculiaridades de uma área operacional é menor, facilitando sua colonização. O ambiente externo ao aeroporto não parece determinar quais espécies irão colonizá-lo, mas podem apresentar importantes fatores que determinam a velocidade com que este processo acontece. A recolonização também é mais veloz: novos indivíduos se estabelecem em territórios deixados por indivíduos envolvidos em acidentes com aeronaves.

Em outros casos, é justamente o contraste entre o ambiente externo e as áreas aeroportuárias que atrai as espécies: as barreiras físicas da área operacional dificultam o acesso de animais terrestres e isto inclui predadores terrestres, concedendo uma vantagem quando comparado a outros locais. O corte de grama facilita o acesso ao alimento (sementes, insetos e carcaças) e também aumenta a conspicuidade. É o caso de aeroportos inseridos em ambientes florestados (ex: aeroportos do Norte do Brasil, em bioma amazônico). Vale notar, porém, que espécies adaptadas a ambientes florestados podem ter dificuldade de adaptação a ambientes aeroportuários justamente pelo fato destes serem ambientes abertos. Já para espécies de ambiente aberto, a detecção e a colonização são mais difíceis, porque os ambientes florestados constituem barreiras físicas para tais espécies. Além disso, elas devem percorrer grandes distâncias para detectá-los na matriz florestada.

Ao se planejar o manejo de fauna em aeroportos, deve-se combinar atividades de efeito a curto e longo prazo, e estas devem ser adaptadas às particularidades de cada aeroporto (Sodhi, 2002, Bellant & Martin). Além disso, a associação entre conhecimentos a respeito da ecologia das espécies locais e registros sobre sua ocorrência no aeródromo deve ser a base de qualquer estratégia de manejo (Blackwell et al 2013). Assim, a partir dos resultados obtidos neste estudo, é possível delinear duas estratégias gerais de manejo. Elas diferem de acordo com o ambiente em que o aeroporto está inserido.

Em aeródromos inseridos em matrizes de ambiente campestre, o manejo de fauna deve priorizar a utilização de

métodos dispersivos não letais continuamente, combinados com métodos letais, em menor frequência. Nestes casos, técnicas dispersivas não letais frequentes aumentam a percepção de risco de predação e o stress (Creswell 2008), o que dificulta a habituação de indivíduos já estabelecidos na área aeroportuária e a recolonização por novos indivíduos. Abate em excesso facilitaria a recolonização, pois abriria espaço para indivíduos que já ocorrem no perímetro do aeroporto. Estes novos indivíduos sempre tem maiores chances de ocasionar novos acidentes aéreos, uma vez que, apesar de reconhecerem a pista como extensão de seu habitat, desconhecem os perigos e as peculiaridades da área aeroportuária. Kitowski (2011) relata, inclusive, a possibilidade de jovens tomarem o lugar de machos de *Falco tinnunculus* abatidos e aumentarem a chance de colisão, devido à inexperiência. Na ausência de experiências letais ou quase-letais, porém, ocorre habituação de indivíduos menos sensíveis e a eficiência dispersiva diminuiria com o tempo, como acontece o uso de repelentes sonoros (Cleary & Dolbeer 2005, Baxter & Allan 2008). É importante então, que a frequência de métodos dispersivos seja planejada em paralelo com a frequência do turnover dos novos indivíduos que estejam tentando recolonizar espaços vazios.

Em aeroportos que foram construídos em uma matriz de ambiente florestado, a recolonização é mais lenta. As espécies devem detectar o ambiente aberto na matriz florestal e transpor o ambiente florestal para ocupá-lo. Uma vez dentro do aeroporto, porém, estes indivíduos encontram igual dificuldade para deixar a área aeroportuária. Assim, métodos de dispersão não letais, mesmo que contínuos, talvez não sejam suficientes para evitar a invasão de indivíduos, e métodos de captura ou abate seriam, então, mais eficazes. Sua utilização, porém, deve ser cautelosa e dependerá das especificidades de cada aeroporto e, principalmente, da espécie em questão. Ações para diminuir a atratividade da área portuária também podem ajudar a diminuir a quantidade de indivíduos que escolham se estabelecer ali.

A associação entre a ocorrência de colisões em aeródromos localizados em cidade de densidade demográfica média também reforçam a influência do ambiente entorno do aeroporto. Em cidades muito grandes, há grande movimento de aeronaves, mas o próprio crescimento da cidade deixou poucos refúgios para a fauna local. Cidades muito pequenas, por outro lado, provavelmente tem maior quantidade de habitat natural preservado, mas a quantidade de voos é muito menor, o que diminui a chance de colisões. Já as cidades de porte médio teriam suficiente movimento para aumentar este risco e também áreas relativamente preservadas, de onde as aves poderiam sair e colonizar o aeroporto.

O aumento de colisões durante períodos mais escuros do dia (amanhecer, entardecer, e períodos chuvosos e nublados) pode estar associado a diversas situações. Períodos crepusculares (entardecer e amanhecer), são, normalmente, períodos de maior atividade das aves. Durante o amanhecer, acontece o pico de atividade de alimentação, reprodução e

defesa de território, enquanto que, no entardecer, há maior deslocamento em busca de um dormitório seguro para o período noturno (Sick, 1997). A estação reprodutiva das aves muitas vezes coincide com o início da estação chuvosa quando há aumento significativo da atividade e quantidade de insetos e invertebrados em resposta à maior disponibilidade de recursos (Silva et al., 2011). Nesse período as aves tornam-se muito ativas em busca de parceiros e locais de nidificação, já que, além de recursos alimentares, a umidade do solo facilita penetração, construção e fixação de novos ninhos (Torres & Madi-Ravazzi, 2006). Essas circunstâncias favorecem a cadeia trófica que se estabelece naquele ambiente: tanto insetívoros e onívoros, que se aproveitam da abundância e conspicuidade de insetos, quanto carnívoros, que prendam os primeiros, aproveitam para se alimentar fartamente. Nos dois casos, porém, os animais, ocupados com a alimentação e/ou reprodução, se tornam desatentos ao seu entorno, ficando mais vulneráveis a colisões. Assim, eventos que promovam o aumento da presença e dispersão de insetos (períodos chuvosos, espécie e tipos de corte de grama) podem estar associados ao aumento de colisões de aeronaves com espécies insetívoras e onívoras. Além disto, em relação a todos os grupos de aves, dias chuvosos e úmidos deixam as penas das aves molhadas. O efeito é observado no tempo de reação que fica mais lento, consequentemente podem promover colisões.

O Ranking Brasileiro de Severidade Relativa de Espécies de Fauna (CENIPA, 2016), lista as espécies de avifauna de mais risco para a aviação. O critério utilizado é o índice de severidade relativa, que quantifica os danos gerados aos voos e às aeronaves por colisões em que a espécie se envolveram. Quatro das oito espécies detectadas por este estudo como frequentemente envolvidas em acidentes de colisão estão neste ranking: *C. atratus*, com 94,1% de severidade relativa, *C. plancus* com 47,1% e *V. chilensis* e *C. livia* com 29,4%. Devido a potencialidade de efeitos danosos relacionados a este índice, espécies que apresentem alto percentual de severidade reativa e para as quais não haja técnicas de captura eficientes, seriam candidatas ao abate em áreas onde o aeroporto está inserido em matriz florestal que sua área perimetral seja floresta contínua. Apesar disso, o abate deve ser entendido como medida extrema, de solução a curto prazo. Colisões com *C. atratus* ilustram bem a questão: a presença desta espécie no entorno de aeroportos está frequentemente relacionada a problemas sanitários do município, neste contexto se encontra a maioria das cidades da região norte onde não há rede de esgoto satisfatória (ex.: Altamira, Santarém, Macapá, Manaus e Paritins), além de focos atrativos bem caracterizados como matadouros, lixões, aterros que também beneficiam e atraem estas espécies e colocam-nas em perímetros localizados dentro da área de risco de aeroportos. Eliminar as causas primordiais

deveriam ser o foco principal de um projeto de manejo eficiente a longo prazo.

De modo geral o comportamento territorialista e o alto cuidado parental podem estar associados a aumento de colisões. Em algumas espécies, ocorre um aumento hormonal no início do período reprodutivo, que é seguido por aumento de agressividade e atividade de defesa de território. Este território muitas vezes é localizado na área da pista de pouso e decolagem. Este comportamento pode se estender até o período de incubação. O ideal para o sucesso reprodutivo é sincronizar o nascimento dos filhotes com o período de maior abundância de alimentos, coincidindo com o período chuvoso, como nos referimos anteriormente. Jaatinen et al. (2011) verificou que sob alto risco de predação, o cuidado parental de grupo aumenta, com a formação de grupos maiores. Em espécies já estabelecidas no aeródromo, isso pode significar o aumento do risco de colisões durante o período reprodutivo, o que reforça a importância de técnicas de prevenção de colonização do território do aeroporto (Belant & Martin 2011).

6 CONCLUSÕES

A ligeira divergência de resultados entre a ACM e as análises mais detalhadas é mais um indicativo da natureza multifatorial da ocorrência de colisões. A grande extensão territorial brasileira comporta elevada diversidade de espécies, biomas e climas que, combinados à variedade de condições socioeconômicas das cidades brasileiras, são ingredientes da enorme complexidade refletida no baixo poder de explicação da MCA. Além disso, é possível que parte das variáveis dos relatórios, e mesmo as acrescentadas para a análise, sejam insuficientes para aumentar a compreensão das causas. As condições ambientais no entorno de cada aeroporto, sua similaridade com a área operacional do aeródromo ou se há disponibilidade de recursos alimentares que tornam o local atrativo para algumas espécies, parecem ser mais importantes. A identificação destes atrativos, juntamente com o mapeamento das características morfoclimáticas são de suma importância para a escolha da estratégia de manejo adequada para aumentar a segurança aeroportuária. É também importante ressaltar que uma análise mais robusta de tais fatores requer a disponibilização de dados associados aos voos sem avistamentos ou colisões - a falta dessas informações levou ao uso de avistamentos como "controle", o que, apesar de indicar algumas associações entre variáveis, não permite uma resposta clara.

Existem tendências gerais, como identificadas nesse trabalho, porém seu controle pode ser explorado priorizando ou ampliando o esforço em períodos do dia "escuros" com maior número de voos, com métodos específicos da "ecologia do Medo" para grupos e ou espécies problemas conhecidas localmente. Alguns métodos com interações bastante

específicas poderiam ser melhor utilizados como a falcoaria e o abate e possivelmente acidentes seriam evitados.

A sazonalidade é apontada como uma variável de grande significância, sendo assim, sugere-se o alinhamento do planejamento das técnicas e do esforço do manejo como os períodos de maiores picos de abundâncias e comportamentos de defesa de território de espécies problemáticas.

Portanto, o monitoramento de fauna periódico por profissionais qualificados é de extrema importância para um delineamento preciso das estratégias de manejo eficientes para cada aeroporto, e, a partir destas, identificar padrões amplos ligados talvez a regiões, ambientes ou até mesmo biomas.

REFERÊNCIAS

- Abdi, H. & Valentin, D. 2007. Multiple Correspondence Analysis. Pp. 1-3 in Neil Salkind (Ed.) Encyclopedia of Measurement and Statistics. Thousand Oaks (CA), Sage.
- Allan, J.R. 2000. The cost of bird strikes and bird strike prevention. Proceedings of the Wildlife Research Center Symposium. United States Department of Agriculture, University of Nebraska, Lincoln, U.S.A. 147-153.
- Baxter, A. T., and J. R. Allan. 2006. The use of raptors to deter scavenging birds from landfill sites. *Wildlife Society Bulletin* 34:1162-1168.
- Baxter, A. T., and J. R. Allan. 2008. Use of Lethal Control to Reduce Habituation to Blank Rounds by Scavenging Birds. *Journal of Wildlife Management* 72(7):1653-1657.
- Bateson, P., 1991 Assessment of pain in animals. *Anim. Behav.* 42, 827-839.
- Belant, J. & Martin, J. 2011. Bird Harassment, Repellent, and Deterrent Techniques for Use on and Near Airports. Airport Cooperative Research Program. 44p.
- Blackwell B. F., Seamans T. W., Schmidt P. M., De Vault T. L., Belant, J. L., Whittingham M. J.
- Martin J. A., Fernandez-Juricic, E., 2013. A framework for managing airport grasslands and birds amidst conflicting priorities. *155(1): 189-193.*
- Borcard, D., Gillet, F. & Legendre, P., 2011. Principal Component Analysis. In R. Gentleman, G. G. Parmigiani, & K. Hornik, eds. *Numerical Ecology with R*. New York: Springer, p. 306.
- Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2016 - Ranking Brasileiro de Severidade Relativa de Espécies de Fauna Comando da Aeronáutica, Assessoria de Gerenciamento e Risco de Fauna. Disponível em: <http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/files/Ranking%20Risco%20da%20Fauna%20-%2031032016.pdf>
- Cleary E. & Dolbeer R., 2005. *Wildlife Hazard Management at Airports: A Manual for Airport Personnel*. USDA National Wildlife Research Center. 363p.
- Cresswell W., 2008. Non-lethal effects of predation in birds. *Ibis*. 150(1): 3-17.
- Devault, T. I., Belant, J. L., Blackwell, B. F. and T.W. Seamans 2011. Interspecific Variation in Wildlife Hazards to Aircraft: Implications for Airport Wildlife Management. *Wildlife Society Bulletin* 35(4):394-402.
- Dolbeer, R.A. 2006. Height distribution of birds as recorded by collisions with civil aircraft. *J. Wildlife Management*. 70: 1345-1350.
- Froneman, A. 2000. Towards the management of bird hazards on South African airports. Proceedings of the International Bird Strike Committee IBSC25/ WP-SA5. Amsterdam, Netherlands.
- Husson, F., Josse, J., Le, S. & Mazet, J., 2016. *Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining*. Available at: <http://factominer.free.fr>.
- Jaatinen K., Öst M., Lehikoinen A., 2011. Adult predation risk drives shifts in parental care strategies: A long-term study. *Journal of Animal Ecology*. 80(1): 49-56.
- Kitowski, I. 2014. The response of Eurasian kestrel *Falco tinnunculus* to falconry at Deblin Military Airfield, East Poland. *Turkish Journal of Zoology*. 38: 298-305
- Marateo, G., Grilli, P., Ferretti V., Bouzas, N. (2011): Diagnóstico de riesgo aviario en un aeródromo de un Área Megadiversa de Perú – Revista Conexão SIPAER 2: 203-227.
- Mendonça, F. A. C. *Apostila de Perigo Aviário*. Brasília: CENIPA, 2005.
- Mendonça, F. V. T. *Nível de serviço nos terminais de passageiros dos aeroportos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2009.
- Sodhi, N. 2002. Competition in the air: birds versus aircraft. *Auk* 119: 587-595.
- Sick, H. (1997). *Ornitologia brasileira*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira. p. 862.
- Silva, N. A. P. da, Frizzas M. R. & Oliveira, C. M. (2011). Seasonality in insect abundance in the “Cerrado” of Goiás State, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia* 55(1): 79-87.
- Torres, F. R. & L. Madi-Ravazzi. (2006). Seasonal variation in natural populations of *Drosophila* spp. (Diptera) in two woodlands in the State of São Paulo, Brazil. *Iheringia, Série Zoologia*, 96: 437-444.
- Wickham, H., 2009. *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*, Springer New York. Available at: <http://had.co.nz/ggplot2/book>.
- Wickham, H., 2011. The Split-Apply-Combine Strategy for Data Analysis. *Journal of Statistical Software*, 40(1), pp.1-29. Available at: <http://www.jstatsoft.org/v40/i01/>.
- Wickham, H., 2014. *tidyr: Easily Tidy Data with spread() and gather() Functions*. Available at: <https://cran.r-project.org/package=tidyr>.



10 ANEXO II

Artigo publicado na Revista CONEXÃO SIPAER:

Carvalho CEA, Figueiredo L, Teixeira CP, Figueira JEC, Dos Anjos L (2016) **A Comunidade de aves do Aeroporto Carlos Drummond Andrade/MG e suas Implicações para a Segurança Aeroportuária.** 7(1):82-88

<http://conexaosipaer.cenipa.gov.br/index.php/sipaer/article/view/387/330>

A Comunidade de aves do Aeroporto Carlos Drummond Andrade/MG e suas Implicações para a Segurança Aeroportuária

Carlos Eduardo Alencar Carvalho¹, Ludmilla Figueiredo², Gabriel de Freitas Fernandes³, Ricardo Victoriano Grecco¹, Affonso Henrique Nascimento de Souza¹

1 Biocev Projetos Inteligentes

2 Université de Rennes 1

3 Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

RESUMO: Aves são consideradas comparativamente aos outros grupos de animais os maiores problemas e os principais riscos à aviação. O aeroporto Carlos Drummond de Andrade (Pampulha) é um equipamento inserido na malha urbana de Belo Horizonte, no Estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil. Apesar da inserção na matriz metropolitana, está localizado perto de ambientes lacustres que podem funcionar como atrativos de fauna, aumentando o risco de colisões entre aves e aeronaves. O período de estudo aconteceu nos meses de Maio e Junho de 2014 e Março e Abril de 2015, nas áreas perimetral e operacional do Aeroporto da Pampulha. Foram feitas 96 horas de censos semanais, das 6h às 9h da manhã (matutino) e das 15h às 18h (vespertino) ao lado da pista de pouso e decolagem. Os objetivos deste estudo foram identificar e quantificar espécies de aves presentes no aeroporto, horário de presença, comparar os relatos nacionais de colisões envolvendo aves com os relatos na Pampulha cotejando com os registros de colisões com danos e, por fim, sugerir estratégias de manejo eficientes. Um total de 93 espécies foi identificado, das quais 66 utilizavam a área operacional. Nesta área, as espécies residentes mais abundantes e que apresentavam maiores riscos foram a pomba-asa-branca (*Patagioenas picazuro*), o quero-quero (*Vanellus chilensis*), e a andorinha-pequena-de-casa (*Pygochelidon cyanoleuca*). Baseado no comportamento de forrageio destas espécies problema, propomos medidas preventivas e emergenciais de manejo e afugentamento. A aplicação de técnicas específicas para as espécies problema, combinadas com manejo de habitat e monitoramento da comunidade faunística aos contínuos, aumenta a eficiência destes e, conseqüentemente, a segurança dos voos e das operações no aeródromo.

Palavras Chave: Comunidade de Aves, Segurança de voo, Risco da fauna.

Bird Community of Carlos Drummond de Andrade Airport and its Implications on Airport Safety

ABSTRACT: In comparison with other groups of animals, birds are considered the worst source of problems and posing the main hazards to aviation. The Carlos Drummond de Andrade Airport (Pampulha Airport) is a facility located in the urban environment of Belo Horizonte in Minas Gerais, southeastern Brazil. Although located in the metropolitan area, there are nearby lakes which may function as points of fauna attraction, increasing the risk of bird-strikes. The study covered the periods of May/June 2014 and March/April 2015, both in the surrounding and operational area of Pampulha Airport. It represents 96 hours of weekly censuses from 6am to 9am and from 3pm to 6pm, to the side of the active runway. Among the objectives of the study, were the identification and quantification of bird species present at the airport, time of presence, comparison between national bird-strike reports and local ones, relating them with records of bird-strikes with damage, and, finally, suggest strategies for efficient handling. From a total of 93 species identified, 66 utilized the operational area. In this area, the most prevailing resident species were the picazuro pigeons (*Patagioenas picazuro*), southern lapwings (*Vanellus chilensis*), and blue-and-white swallows (*Pygochelidon cyanoleuca*). Based on the feeding habits of these problem-species, both preventative and emergency measures are proposed for their handling and scaring. The utilization of specific techniques, together with handling of the habitat and monitoring of the fauna population increases the efficiency of the control measures and, consequently, the safety of flights and operations in the aerodrome.

Key words: Bird Community. Flight Safety. Fauna Hazard.

Citação: Carvalho, CEA, Figueiredo, L, Figueira, JEC, Fernandes, GF, Grecco, RV, Souza, AHNS. (2016) A Comunidade de aves do Aeroporto Carlos Drummond Andrade/MG e suas Implicações para a Segurança Aeroportuária. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 7, No. 1, pp. 82-88.

1 BIOGRAFIA

Carlos Eduardo Alencar Carvalho

Doutorando em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre (ECMVS) em Eficiência de Falcoaria e manejo de fauna em Aeroportos do Brasil. Possui graduação em Ciências Biológicas e Mestrado em Zoologia pela PUC-MG (2000 e 2004). Fundador e Ex-presidente da S.O.S. Falconiformes Centro de Conservação de Rapinantes (1998 a 2005), Diretor do Instituto Pro-Raptor de Pesquisa e Desenvolvimento (2015-

Atual), Diretor Técnico da Biocev Projetos Inteligentes (2013-Atual) e em 2014. Tem experiência em Zoologia e Ecologia Aplicada, atuando principalmente nos seguintes temas: Manejo e Conservação de Rapinantes, Falcoaria para Controle de Fauna, Biologia Reprodutiva de Rapinantes in situ e ex situ. Carlos.carvalho@biocev.net

Ludmilla Figueiredo

Master of Sciences em Modelagem em Ecologia pela Université de Rennes 1, França (2015). Bióloga graduada pela

Universidade Federal de Minas Gerais (2013). ludmillafi@gmail.com.

José Eugênio Côrtes Figueira

Doutorado em Ecologia pela Universidade Estadual de Campinas (1998). Graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Minas Gerais (1984), Mestre em Ecologia pela Universidade Estadual de Campinas (1989). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Minas Gerais. Tem experiência nas áreas de Ecologia de população e ecologia de comunidades, com ênfase em vegetação de campos rupestres, ecologia do fogo e comunidades animais.

Gabriel de Freitas Fernandes

Pós-graduado em Wildlife Management, Biólogo, pela PUC-MG (2001) Analista da Infraero Responsável Pelo SBBH.

Ricardo Victoriano Grecco

Graduando em Biologia Puc-MG estagiário do Manejo de Fauna em Aeroportos pela biocev Projetos Inteligentes.

Afonso Henrique Nascimento de Souza

Mestre em Biologia (ecologia) pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Biólogo graduado pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Coordenador de Manejo de Fauna em Aeroportos pela BIOCEV Projetos Inteligentes. afonso.souza@biocev.net

2 INTRODUÇÃO

Colisões entre animais e aeronaves têm uma grande importância em acidentes aéreos (Morais, 2012). E com o aumento de voos e a popularização de viagens aéreas, a tendência é o aumento progressivo destes. Aves são considerados os maiores problemas e os principais riscos à aviação quando comparadas aos outros grupos de animais (Sodhi Navjot 2002). Na verdade, a presença de aves e principalmente de grandes concentrações de aves em aeroportos e/ou entorno destes tem contribuído para o aumento dos riscos para aviação civil e militar (Dolbeer et al. 2005); Mendonça 2009). O interessante é que a maioria dos aeroportos do Brasil não tem estudo ou inventário confiável da comunidade de avifauna residente e migratória e nem de sua dinâmica populacional, gerando assim uma dificuldade de se iniciar estratégias para diminuir os riscos de colisões entre aves e aeronaves.

Aeroportos são áreas que oferecem uma série de benefícios à avifauna, principalmente aqueles inseridos em matriz urbana, que se tornam refúgios em meio a uma matriz tão hostil. As barreiras físicas fornecem proteção contra predadores terrestres e as áreas verdes oferecem recursos alimentares e abrigo, muitas vezes na própria grama ao lado da pista de pouso e decolagem, o que na prática aumenta significativamente o risco de colisões.

O Aeroporto Carlos Drummond Andrade, além das características clássicas de um aeroporto inserido em matriz urbana, possui características específicas em seu entorno: lagoas e riachos que aumentam a diversidade de habitats, transformando a região em um “oásis” para espécies residentes e migratórias.

Mendonça (2009) relata que mais de 90% das colisões ocorrem dentro ou no entorno de aeródromos. Assim, o objetivo deste estudo é identificar as espécies que fazem parte da comunidade desta região, bem como as espécies que oferecem algum risco à aviação no Aeroporto Carlos Drummond Andrade.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Nosso estudo foi conduzido no Aeroporto da Pampulha, em Belo Horizonte/Minas Gerais, região sudeste do Brasil. Construído na década de 30, o aeroporto de Belo Horizonte tem capacidade para atender até 1,5 milhões de passageiros ao ano. Com o crescimento da cidade, se transformou em aeroporto central, inserido no contexto urbano desta. O aeródromo está instalado em uma área aproximada de 2.000.000m², na região da Pampulha, distante 8 km do centro.

3.2 Amostragem

Fizemos censos semanais nas áreas operacional e perimetral da pista de decolagem aeroportuária em 2014 e 2015. As amostragens por pontos foram feitas em oito pontos posicionados a 300 metros na pista de 2.5 km, tendo, então, raios determinados de 150m. Desta forma, não houve a possibilidade do registro duplo (mesmo registro em dois pontos). Durante 15 minutos, foram feitos registros da identificação de espécies, comportamento, número de indivíduos, corte de grama no local. Estes pontos foram amostrados uma vez por semana no período matutino (6h00 às 9h30) e vespertino (15h30 às 18h00). Para equalizar a amostragem por pontos, os censos se iniciaram em um ponto a cada semana, até todos os pontos terem sido amostrados oito vezes.

3.3 Análise de dados

A partir dos valores de abundância média diária obtidos pelo censo foram calculados turnover (proporção de espécies diferentes entre o início e o fim de um intervalo de tempo), aparecimentos (proporção de espécies que aparecem) e desaparecimentos (proporção de espécies que desaparecem – Hallett et al., 2016) para cada mês. O uso de médias não afeta o cálculo dos índices, pois eles estimam a variação proporcional no número de espécies. Também foram calculados a riqueza de espécies de cada área, em cada ano, e o índice de similaridade de Morisita-Horn (Wolda 1981). A vantagem do uso deste índice é sua independência em relação ao tamanho amostral. Todas as análises foram conduzidas no software estatístico R (R Core Team, 2016), utilizando-se os seguintes pacotes: “dplyr” (Wickham & Romain 2015), “codyn” (Hallett et al., 2016) e “vegan” (Oksanen et al. 2015).

4 RESULTADOS

Durante todo o período amostral, 93 espécies foram registradas (Tabela 2). Quarenta e nove espécies foram registradas em ambas as áreas, sendo que a área perimetral apresenta mais espécies exclusivas que a área operacional (27 e 17, respectivamente - Tabela 2).

Tabela 1: Relação de espécies de acordo com a área em que foram registrados e valores do índice de similaridade de Horn-Morisita entre as áreas em 2014 e 2015.

Espécies comuns às duas áreas	Espécies exclusivas da área operacional	Espécies exclusivas da área perimetral
<i>Amazilia lactea</i>	<i>Athene cunicularia</i>	<i>Aramides cajaneus</i>
<i>Amazonetta brasiliensis</i>	<i>Columbina squammata</i>	<i>Ardea cocoi</i>
<i>Anthus lutescens</i>	<i>Coragyps atratus</i>	<i>Cairina moschata</i>
<i>Ardea alba</i>	<i>Falcos parverius</i>	<i>Camptostoma obsoletum</i>
<i>Brotogeris chiriri</i>	<i>Jacarina volatinia</i>	<i>Chloroceryle amazona</i>
<i>Bubulcus ibis</i>	<i>Machetornis rixosa</i>	<i>Colaptes melanochloros</i>
<i>Buteo albicaudatus</i>	<i>Megarhynchus pitangua</i>	<i>Cyclarhis gujanensis</i>
<i>Butorides striata</i>	<i>Melanerter candidus</i>	<i>Egretta thula</i>
<i>Caracara plancus</i>	<i>Phaethornis pretrei</i>	<i>Elaenia obscura</i>
<i>Certhiaxis cinnamomeus</i>	<i>Sicalis flaveola</i>	<i>Forpus xanthopterygius</i>
<i>Coereba flaveola</i>	<i>Sicalis luteola</i>	<i>Furnarius figulus</i>
<i>Colaptes campestris</i>	<i>Sporophila lineola</i>	<i>Galinula galeata</i>
<i>Columba livia</i>	<i>Sporophila nigricollis</i>	<i>Himantopus melanurus</i>
<i>Columbina talpacoti</i>	<i>Sporophila sp.</i>	<i>Megaceryle torquata</i>
<i>Crotopha gaani</i>	<i>Sporophillanigricollis</i>	<i>Nycticorax nycticorax</i>
<i>Elaenia flavogaster</i>	<i>Stelgydopterix ruficollis</i>	<i>Nymphicus hollandicus</i>
<i>Elanus leucurus</i>	<i>Syrigma sibilatrix</i>	<i>Pardirallus nigricans</i>
<i>Estrild astrild</i>	<i>Vanellus chilensis</i>	<i>Piaya cayana</i>
<i>Eupetomena macroura</i>		<i>Picumnus cirratus</i>
<i>Euphonia chlorotica</i>		<i>Polioptila dumicula</i>
<i>Falco femoralis</i>		<i>Pyrocephalus rubinus</i>
<i>Fluvicula nengeta</i>		<i>Ramphastos toco</i>
<i>Furnarius rufus</i>		<i>Satrapa icterophris</i>
<i>Geothlypis equinoctialis</i>		<i>Tangara cayana</i>
<i>Guira guira</i>		<i>Taraba major</i>
<i>Heterospizias meridionalis</i>		<i>Xolmis cinerea</i>
<i>Milvago chimachima</i>		<i>Zenaida auriculata</i>
<i>Mimussa turninus</i>		
<i>Molothrus bonariensis</i>		
<i>Myiozetetes similis</i>		
<i>Passer domesticus</i>		
<i>Patagioenas picazuro</i>		
<i>Phacellodomus rufifrons</i>		
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>		
<i>Phimosus infuscatus</i>		
<i>Pitangus sulphuratus</i>		
<i>Prognecha lybea</i>		
<i>Psittacara leucophthalmus</i>		
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>		
<i>Rupornis magnirostris</i>		
<i>Sturnella superciliaris</i>		
<i>Tangara sayaca</i>		
<i>Todirostrum cinereum</i>		
<i>Todirostrum poliocephalum</i>		
<i>Troglodytes musculus</i>		
<i>Turdus leuconelas</i>		
<i>Tyrannus melancholicus</i>		
<i>Volatinia jacarina</i>		
<i>Xolmis velatus</i>		

Índice de Horn-Morisita

Área operacional x Área Perimetral

2014: 0.86 2015: 0.54

Uma comparação entre as cinco espécies mais frequentes em cada uma das áreas permite observar que a composição dos grupos muda entre as áreas operacional e perimetral (Tabela 2). Oito espécies alternaram sua posição no ranking de maior frequência na área operacional, sendo que *P. picazuro* foi a mais abundante durante todos os meses de observação, com uma grande margem. Na área operacional, nove espécies se alternaram como as mais frequentes. *P. picazuro* foi registrada

na área perimetral com frequência consideravelmente mais baixa do que a observada na área operacional. *P. brasilianus*, que foi a espécie mais abundante na área perimetral em três dos quatro meses de observação, não o fez na área operacional, enquanto que *P. cyanoleuca* e *P. infuscatus* foram estão entre as mais abundantes em ambas as áreas (Tabela 2). Além disso, das nove espécies, cinco são aquáticas: *B. ibis*, *E. thula*, *G. galleata*, *P. infuscatus* e *P. brasilianus*.

Tabela 2: Ranking de abundância de espécies: Cinco espécies com os maiores valores de abundância média diária (a.m.) nas áreas operacional e perimetral, durante cada período amostral.

Área	2014				2015			
	Maio espécie	a.m.	Junho espécie	a.m.	Março espécie	a.m.	Abril espécie	a.m.
Operacional	<i>P. picazuro</i>	35,80	<i>P. picazuro</i>	140	<i>P. picazuro</i>	74,8	<i>P. picazuro</i>	96,25
	<i>V. jacarina</i>	21,20	<i>P. cyanoleuca</i>	17,5	<i>P. cyanoleuca</i>	14	<i>P. cyanoleuca</i>	59,5
	<i>E. astrild</i>	9,80	<i>V. chilensis</i>	15,5	<i>V. chilensis</i>	10	<i>V. chilensis</i>	13
	<i>V. chilensis</i>	9,80	<i>C. talpacoti</i>	15	<i>P. infuscatus</i>	8,8	<i>P. infuscatus</i>	12,5
	<i>C. talpacoti</i>	8,60	<i>E. astrild</i>	13,5	<i>C. ani</i>	6,8	<i>V. jacarina</i>	12,5
Perimetral	<i>P. brasilianus</i>	10,60	<i>P. brasilianus</i>	15	<i>P. cyanoleuca</i>	19,4	<i>P. brasilianus</i>	19,75
	<i>C. cinnamomeus</i>	7,60	<i>P. infuscatus</i>	11,5	<i>P. picazuro</i>	15,6	<i>P. infuscatus</i>	16,25
	<i>G. galeata</i>	6,80	<i>P. cyanoleuca</i>	11	<i>P. brasilianus</i>	14,4	<i>C. ani</i>	15
	<i>P. infuscatus</i>	6,80	<i>G. galeata</i>	7	<i>B. ibis</i>	12,8	<i>C. cinnamomeus</i>	14,75
	<i>E. thula</i>	5,20	<i>C. cinnamomeus</i>	4,5	<i>C. ani</i>	8,8	<i>P. cyanoleuca</i>	10,25

Tabela 3: Métricas de dinâmica de comunidade:

Ano	Área	Turnover	Aparecimentos	Desaparecimentos	Riqueza
2014	Operacional	0.56	0.06	0.50	49
	Perimetral	0.57	0.16	0.41	52
2015	Operacional	0.43	0.26	0.17	54
	Perimetral	0.34	0.20	0.14	59

Tais diferenças são também evidenciadas pelos índices de dinâmica da comunidade (Tabela 3). Entre Maio e Junho de 2014 houve maior mudança nas espécies presentes que entre Março e Abril de 2015 (os valores de turnover em ambas as áreas em 2014 foram maiores que os de 2015. Também comparando os dois anos, há mais aparecimento de espécies em 2015, e mais desaparecimentos em 2014.

Os picos horários de ocorrência foram considerados para as espécies com frequência média diária maior que dois registros

por hora, em cada um dos horários considerados, nos anos de 2014 e 2015 (Fig. 1). A espécie mais abundante na área operacional é *P. picazuro*, tanto no período matutino quanto vespertino. Já na área perimetral, a variedade de espécies mais abundantes em cada um dos horários é maior. Inclusive, em 2015, a quantidade de espécies que foram avistadas mais de duas vezes quase dobrou (foram três em 2014 e sete em 2015).

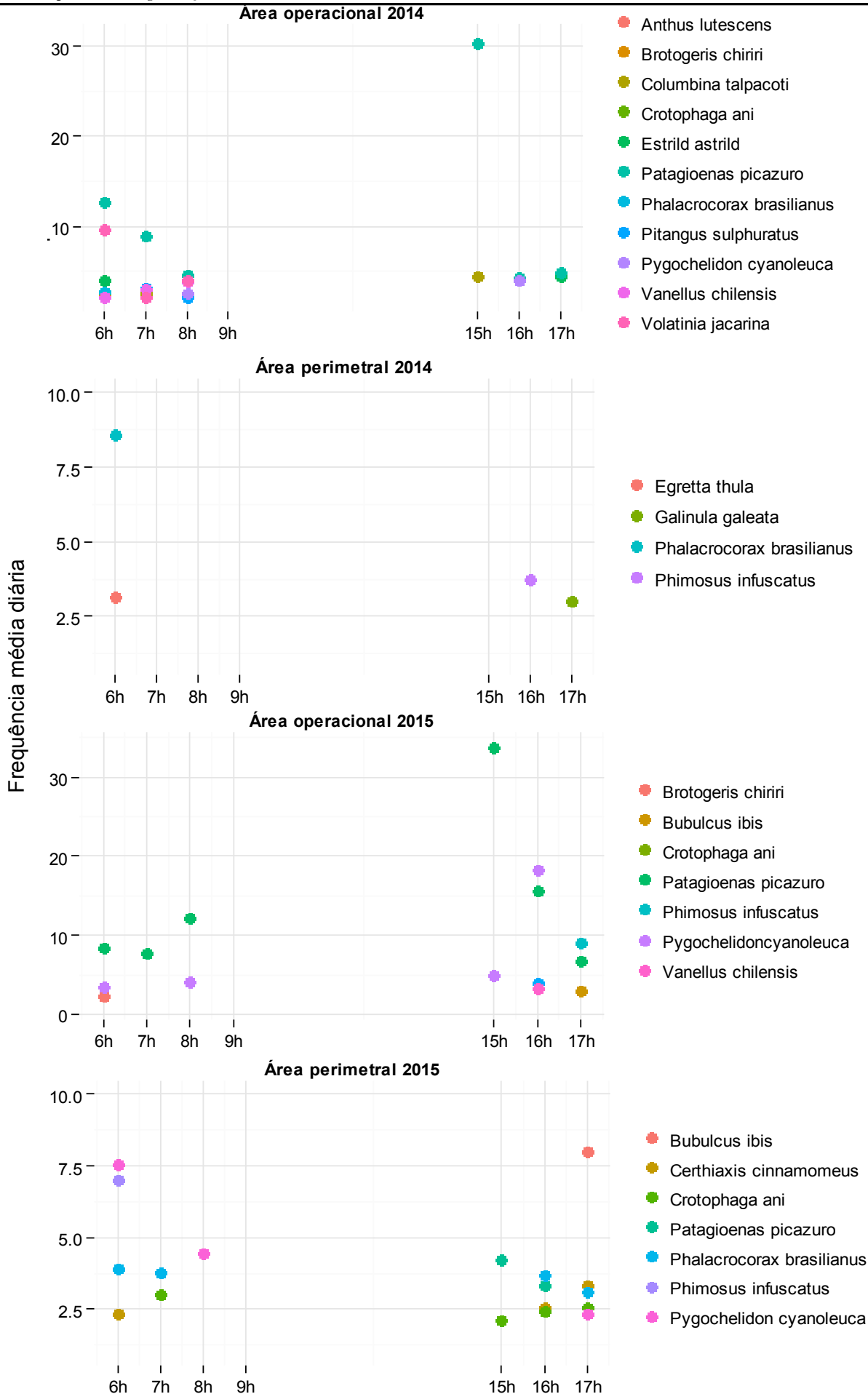


Figura 1: Frequência média de registro a cada hora de censo nas áreas operacional e perimetral, em 2014 e 2015 (média calculada entre os dias de censo em cada caso).

O estado de corte da grama foi registrado em 89 ocasiões. A quantidade média de registros de aves para cada um deles foi de 2.49 (± 1.82 desvio-padrão) em grama alta, 1.56 (± 0.768 desvio-padrão) em grama alta com semente, 2.17 (± 1.5 desvio-padrão) em grama aparada e 4.5 (± 4.04 desvio-padrão) em grama recém-aparada (Fig. 2).

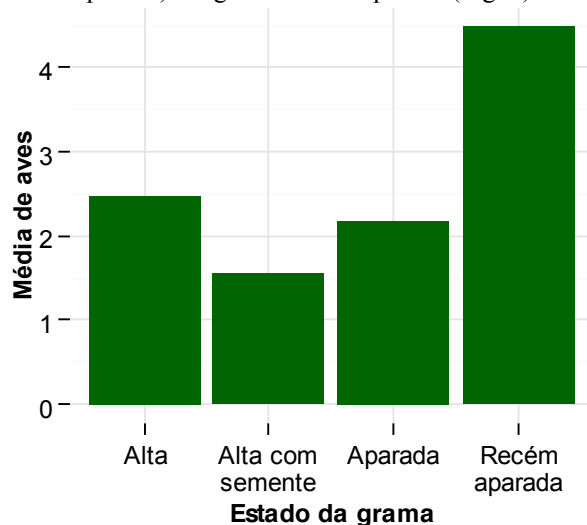


Figura 2: Média de registro de aves de acordo com o estado do corte de grama durante o período de censo.

5 DISCUSSÃO

Para a elaboração do Plano de Manejo de Fauna em Aeroportos, o Ministério de Meio Ambiente define espécie problema como sendo uma “espécie da fauna, nativa, exótica ou doméstica, que interfira na segurança operacional da aviação” (PMFA – MMA, 2014). Por estarem mais próximas das aeronaves, espécies da área operacional normalmente oferecem maior risco de colisão. No aeroporto da Pampulha, é interessante observar a presença majoritária de espécies sinantrópicas nesta área. Entre as espécies mais abundantes na área operacional do aeroporto, *P. picazuro*, *P. cyanoleuca*, e *V. chilensis*, estão listadas no “Ranking Brasileiro de Severidade Relativa de Espécies de Fauna” (CENIPA, 2016). O cálculo da severidade relativa quantifica os danos gerados aos voos e às aeronaves por colisões nas quais a espécie se envolveu, e é utilizado na avaliação de risco das espécies ali presentes. A partir desta avaliação, é estabelecido o Plano de Manejo do aeroporto.

Apesar de espécies da área operacional estarem mais próximas das aeronaves, a área perimetral também deve ser recenseada para a elaboração do PMFA. Das espécies mais frequentemente presentes na área perimetral, *B. ibis*, *E. thula* e *P. brasilianus*, também estão listadas no ranking do CENIPA. Na verdade, *B. ibis* e *E. thula* apresentam maior severidade relativa que qualquer uma das espécies listadas na área operacional. Devido a sua proximidade ao Ribeirão Pampulha, a presença de espécies aquáticas é notável, sendo, inclusive, as mais frequentes nesta área. De maneira similar às espécies da área operacional, estas são atraídas pela disponibilidade de alimento no corpo d’água.

Durante os anos de 2014 e 2015, 38 colisões entre aves e aeronaves foram reportadas na página web do Centro de

Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA - CENIPA). Em 17 casos, a espécie envolvida no acidente não foi identificada. Nos outros, as espécies registradas foram *C. plancus*, *P. picazuro*, *S. sibilatrix*, *C. atratus* e *C. livia*, também listadas no presente estudo, e *Chaetura meridionalis* e *Guira guira*, que não foram avistados durante o período de amostragem. Todas as espécies envolvidas nos acidentes estão presentes em ambas as áreas do aeródromo ou são exclusivas da área operacional. Assim, apesar de apresentarem maior severidade relativa, as espécies mais frequentes na área perimetral possivelmente não se envolvem em tantos acidentes justamente por estarem mais afastadas da área de movimento de aeronaves.

Por outro lado, apesar de serem as espécies mais frequentes na área operacional, *P. picazuro* se envolveu em apenas três dos acidentes registrados no período, e *V. chilensis*, em nenhum. Estas espécies são sensíveis ao manejo por falcoaria conduzido no aeroporto desde 2013 (Carvalho et al., em preparação). Alcançando o objetivo da falcoaria, ao se tornarem mais alertas ao seu entorno por causa da ameaça de um predador, as aves também percebem o perigo oferecido pelas aeronaves e ficam menos suscetíveis a colisões. Por outro lado, *C. plancus* não está entre as espécies mais frequentes, mas foi o que mais se envolveu em acidentes. O *C. plancus* não é sensível à fear ecology representada pela falcoaria e é atraído pelo corte de grama, que facilita a captura de presas e carcaças, animais em fuga e aumenta a conspicuidade. Assim, ao se concentrar na busca por alimento, o animal se distrai e aumenta suas chances de colisão com as aeronaves (Sodhi 2002). Nesse caso, o manejo com falcoaria, apesar de eficiente para evitar colisões com as espécies presas, deve ser complementado com ações e outros métodos que diminuam sua presença, como, por exemplo, desmanche de ninho ou corte de grama. Esta última ação, apesar de pouco ilustrada neste estudo, devido à alta variação nas frequências de aves observadas em cada altura de grama, pode ser melhor caracterizada com maior tempo de monitoramento da preferência das espécies e, a partir dos resultados, ser usada para definir o regime de corte de grama que menos atraia indivíduos para a área operacional do aeródromo. A maior abundância de espécies está relacionada a grama recém cortada e, possivelmente, a maioria das colisões também. Por isso, sugerimos uma investigação mais detalhada para resultados mais conclusivos

Para traçar estratégias que tenham eficiência para aumentar a segurança aeroportuária é necessário manejo vegetal e faunístico específicos e customizados para cada aeroporto, além de conhecimento profundo das espécies que ocorrem no aeroporto e em seu entorno (Sodhi, 2002). No Aeroporto Carlos Drummond Andrade, espécies associadas ao ambiente perimetral são diferentes das espécies associadas ao ambiente operacional e apenas as espécies associadas ao ambiente operacional estão envolvidas em colisões com aeronaves. Assim, as medidas de manejo deve ser adaptadas a estas espécies. Além disso, sugerimos que,

para maior eficiência, o manejo faunístico seja executado priorizando os horários matutinos e vespertinos, pois há maior atividade e abundância das espécies.

BIBLIOGRAFIA

- CENIPA, Disponível em :
<<http://www.cenipa.aer.mil.br/cenipa/index.php>>.
Acesso em 09 de julho de 2016.
- Dolbeer, R.A., Wright, S.E. & Eschenfelder, P.E., 2005. Animal ambush at the airport: The need to broaden ICAO standards for bird strikes to include terrestrial wildlife. *International Bird Strike Committee*, 17(1), pp.33–36.
- Hallett, L. et al., 2016. {codyn}: Community Dynamics Metrics. Available at: <https://github.com/laurenmh/codyn>.
- Hallett, L.M. et al., 2016. codyn: An R package of community dynamics metrics. *Methods in Ecology and Evolution*, 8(4), pp.1–6. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/2041-210X.12569>.
- Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. 2014. Proposta de Resolução sobre manejo de fauna em aeródromos.
- Morais, F.J.A, 2012. Métodos de Avaliação de Risco Aviário em Aeroporto. Dissertação de Mestrado Profissional em segurança de Aviação e Aeronavegabilidade continuada - Instituto Tecnológico de Aeronautica- São José dos Campos.
- Oksanen, J. et al., 2015. vegan: Community Ecology Package. Available at: <https://cran.r-project.org/package=vegan>.
- Sodhi Navjot, S., 2002. Perspectives in ornithology: Competition in the air: Birds versus aircraft. 119(3), pp.587–595.
- Wickham, H. & Romain, F., 2015. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. Available at: <https://cran.r-project.org/package=dplyr>.
- Wolda, H., 1981. Similarity indices, sample size and diversity. *Oecologia*, 50(3), pp.296–302.