



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

BRUNA BORGES AZEVEDO

**MODELO DE ACIDENTE DE AERONAVES POR COLISÃO
COM AVES NA AVIAÇÃO COMERCIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

APARECIDA DE GOIÂNIA
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): **BRUNA BORGES AZEVEDO**

Título do trabalho: **“MODELO DE ACIDENTE DE AERONAVES POR COLISÃO COM AVES NA AVIAÇÃO COMERCIAL”**

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO'

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Carvalho Galvao Da Silva Pinto Bandeira, Professora do Magistério Superior**, em 26/09/2023, às 15:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruna Borges Azevedo, Discente**, em 26/09/2023, às 15:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4074808** e o código CRC **4E0F7EEC**.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

BRUNA BORGES AZEVEDO

MODELO DE ACIDENTE DE AERONAVES POR COLISÃO COM AVES NA AVIAÇÃO COMERCIAL

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso da Graduação em Engenharia de Transportes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás.

Orientadora: Prof.^a Dra. Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira

APARECIDA DE GOIÂNIA
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Azevedo, Bruna Borges

Modelo de Acidente de Aeronaves por Colisão com Aves na Aviação Comercial [manuscrito] / Bruna Borges Azevedo. - 2023.
107 f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto
Bandeira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, Engenharia de Transporte, Aparecida de Goiânia, 2023.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Transporte aéreo. 2. Modelo de Acidentes. 3. Colisões comaves.
4. Segurança. 5. Redes Bayesianas. I. Bandeira, Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto, orient. II. Título.

CDU 625



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DECLARAÇÃO

CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

BRUNA BORGES AZEVEDO

MODELO DE ACIDENTE DE AERONAVES POR COLISÃO COM AVES NA AVIAÇÃO COMERCIAL

Monografia apresentada na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Transportes da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Goiás às 9h00 do dia 22 de setembro de 2023.

Aprovada por:

Profa. Dra. Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira - Orientadora

Prof. Dr. Marcos Paulino Roriz Junior - Examinador Interno

Major Engenheiro Dr. Leonardo Marini Pereira - Examinador Externo

Data: 22/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Michelle Carvalho Galvao Da Silva Pinto Bandeira, Professora do Magistério Superior**, em 26/09/2023, às 14:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcos Paulino Roriz Junior, Professor do Magistério Superior**, em 27/09/2023, às 17:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Marini Pereira, Usuário Externo**, em 27/09/2023, às 22:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3962091** e o código CRC **6841CE1E**.

*Dedico este trabalho aos meus pais,
pois deles é o mérito em não me
permitir desistir. Amo vocês com todo
meu coração.*

AGRADECIMENTOS

À Deus agradeço primeiramente, pois em sua infinita graça e misericórdia tem me amparado ao longo dessa jornada, injetando em mim a força necessária para superar os obstáculos. A Ele toda honra e glória.

Agradeço à minha família, em especial a meus pais, Adalberto e Maria José, que me oferecem seu apoio incondicional e sincero desde sempre. Senão por sua luz e fortaleza, a caminhada seria mais árdua. Obrigado por me ensinarem a não desistir do que nos propomos fazer na vida, ainda mais do caminho que nos levam aos nossos sonhos, essa vitória também é de vocês. À minha irmã e sobrinha, obrigado pelos momentos de carinho e alegria. E à toda a minha família, agradeço pelas palavras de incentivo ao longo dos anos de graduação.

Ao meu noivo, Maikon Kelddery, por seu amor e incentivo desde antes de a Engenharia se tornar um sonho possível. Sou grata a todos os momentos em que me deu forças, colo, escutou todas as histórias que tinha a contar e, também pelas caronas de moto a 100 por hora para não perder uma prova (risos). Obrigado por viver este sonho junto comigo.

Não poderia deixar de dedicar espaço para agradecer aos meus meninos, Ademar Antônio e João Victor Santos. Agradeço sempre em minhas orações à Deus pela vida de vocês e por ter alinhado os astros para que entrássemos na mesma turma e nos tornássemos parceiros de batalha. Não tenho como contabilizar as horas que passamos juntos ao longo destes anos, dividindo as angústias, mas também, todas as pequenas vitórias. De tudo que levo da graduação, com certeza vocês serão minha lembrança mais doce. Lhes desejo muito sucesso, meus meninos engenheiros!

Agradeço também aos amigos e colegas que a graduação me permitiu conhecer, conviver e dividir momentos especiais, em especial ao Wigne Cândido, Lorena Furtado, João Paulo Batista, Jéssica Damásio, John Heberty, Douglas Carlos e Gabriel Soares. Obrigado pelo apoio durante a caminhada. Dividir a graduação com vocês foi mais divertido.

Agradecimento especial à minha orientadora, Prof.^a Dra. Michelle, que foi uma grata surpresa nesta graduação, e a ela, atribuo o despertar da paixão pelo transporte aéreo e aeroportos. Obrigado professora por aceitar meu convite, por me guiar e me permitir brilhar ao mesmo tempo, por cada manifestação de apoio e incentivo, pelos conselhos e acima de tudo, por dedicar tempo e esforço em me mostrar os melhores caminhos na condução deste estudo e na vida. Professora, colega de profissão e, uma amiga.

À Prof.^a Dra. Cíntia, agradeço por se prontificar a participar da banca de TCC 1 e pelas contribuições para melhoria do trabalho e, meus sinceros agradecimentos a ti, por antes da aviação se tornar uma paixão, ter me cativado para a área de Segurança dos Transportes. Ao Prof. Dr. Marcos Roriz agradeço imensamente a disponibilidade e contribuições na banca de TCC 2. Aos membros externos avaliadores da banca, Eng. Dr. Guilherme Zapola e Major Eng. Dr. Marini, meu muito obrigado por seu aceite, tempo, interesse e contribuições com o estudo.

Gratidão a todos os professores da UFG e em especial, aos do curso de Engenharia de Transportes que se empenham mesmo nas adversidades e são eles os responsáveis pelo conhecimento que adquirimos e nos tornam profissionais. Não poderia deixar de citar meu obrigado ao Prof.^o Dr. Willer Luciano pela oportunidade e confiança em três projetos de pesquisa sob sua orientação ao longo da graduação.

Agradeço a bolsa de apoio à pesquisa concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento e Científico e Tecnológico – CNPq por meio do processo nº 168071/2022-3, na modalidade ‘Iniciação Tecnológica em TICs – ITC-A’.

Sou ainda, imensamente grata à Universidade Federal de Goiás por ser símbolo de resistência e por garantir formação pública, gratuita e de qualidade. A educação pode mudar o rumo da vida das pessoas e da sociedade, como tem mudado a minha.

Por fim, a todos que me acompanharam, direta ou mesmo indiretamente nesta jornada, gratidão!

RESUMO

Um dos tipos de ocorrências que representam problema desde os primórdios para a aviação, são as colisões com aves, que podem gerar desde incidentes leves a acidentes significativos, principalmente em termos de custos operacionais para as empresas aéreas. Foi observado na literatura e em bancos de dados de entidades oficiais que o aumento de movimento de voos e o aumento de aeronaves, também aumenta o número de ocorrências de acidentes e incidentes. Isto mostra que estudos nesta área devem ser priorizados e devem ter respostas mais assertivas. Dessa forma, saber quais os principais fatores, como eles se relacionam e, quais mais impactam nesse tipo de acidente, colabora com a segurança operacional do transporte aéreo. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar um modelo de acidente de colisão para a aviação comercial com aves que seja capaz de quantificar o impacto dos principais fatores (horário, cobertura de nuvens, comportamento da espécie, massa da espécie, fase de voo, altura AGL, parte atingida da aeronave), a interrelação desses fatores e suas probabilidades. Sendo assim, foi realizado um levantamento dos principais fatores e das ocorrências no Brasil entre o período de 2011 a 2021. A partir da análise, foi proposto o “Modelo de Acidente por Colisão com Aves”, desenvolvido utilizando o método de Redes Bayesianas. O modelo foi representado graficamente e foi obtido o impacto do global - dos estados que compõem os fatores selecionados – em cenários com e sem evidência. Comparando os cenários com evidência e sem evidência do evento, identificou-se que o cenário crítico no Brasil envolve os seguintes fatores: fuselagem como principal parte atingida (1°); fase de pouso como a mais crítica (2°); velocidade da aeronave de até 80 nós (3°); motor como segunda principal parte atingida (4°); altura AGL até 500 pés (5°); radome como terceira principal parte atingida (6°); uma ave (7°) massa de até 1.500 gramas (8°); período noturno (9°), céu claro (10°). Estes resultados são relevantes aos órgãos do setor e podem contribuir com o processo decisório de gerenciamento de risco e gerenciamento de custos operacionais de operadores aeroportuários, companhias aéreas, entidades públicas e privadas que estejam relacionadas a investigações de acidentes, regulação da aviação civil, centros de treinamentos, entre outros.

Palavras-chave: Transporte aéreo. Modelo de Acidentes. Colisões com aves. Segurança. Redes Bayesianas.

ABSTRACT

One of the types of occurrences that have been a problem since the beginning for aviation is bird strikes, which can generate from minor incidents to significant accidents, especially in terms of operating costs for airlines. It is observed in the literature and in the database of official entities, that the occurrence of accidents and incidents increase with the flight movement and aircraft fleet. This shows that studies in this area should be prioritized and bring more assertive responses. Thereby knowledge about what the main factors, how they relate to each other and what most impact this type of accident, collaborates with the operational safety of air transport. In this context, this work aims to present a bird strike accident model for commercial aviation that is able to quantify the impact of the main factors (time, cloud cover, species behavior, species mass, phase of flight, AGL height, affected part of the aircraft), the interrelation of these factors and their probabilities. Thus, a survey of the main factors and occurrences in Brazil between 2011 and 2021 was conducted. From the analysis, the "Bird Strike Accident Model" was proposed, developed using the Bayesian Networks method. Through graphic representation of the model, the impact of the global - among the states that make up the selected factors - was determined in scenarios with and without evidence. Comparing the scenarios with evidence and without evidence of the event, it was identified that the critical scenario in Brazil involves the following factors: fuselage as the main part reached (1°); landing phase as the most critical (2°); aircraft speed up to 80 knots (3°); engine as second main part reached (4°); height AGL up to 500 feet (5°); radome as third main part reached (6°); one bird (7°), mass up to 1,500 grams (8°); night time (9°), clear sky (10°). These results are relevant to the players involved and can contribute to the decision-making process of risk management and operational costs management of airport operators, companies, public and private entities that are related to accident investigations, regulation of civil aviation, training centers, among others.

Keywords: Air transport. Accident Model. Bird Strike. Safety. Bayesian networks.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE QUADROS	xv
LISTA DE FIGURAS	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS	xvii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	5
1.1.1 Objetivo Geral	5
1.1.2 Objetivos Específicos.....	5
1.2 JUSTIFICATIVA.....	5
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	6
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	7
2.1 COLISÕES SIGNIFICATIVAS E CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO	7
2.2 GERENCIAMENTO DE RISCO E SEUS NORMATIVOS.....	12
2.3 LEVANTAMENTO DE FATORES E MÉTODOS DA LITERATURA.....	17
2.4 REDES BAYESIANAS	23
2.4.1 Modelos de Dependência.....	24
2.4.2 Redes de Confiabilidade Bayesianas	24
2.4.3 Evidência e Construção de Redes Bayesianas	26
2.4.4 Considerações sobre a escolha do método	26
3 MATERIAIS E MÉTODO	28
3.1 LEVANTAMENTO DOS FATORES.....	30
3.1.1 Primeira Etapa	30
3.1.2 Segunda Etapa	30
3.1.3 Seleção dos Fatores.....	31
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS	33
3.2.1 Definição dos Estados de cada Fator do Modelo	33
3.2.1.1 Fase de voo.....	33
3.2.1.2 Altura AGL.....	33
3.2.1.3 Horário.....	34
3.2.1.4 Velocidade da aeronave	34
3.2.1.5 Parte Atingida.....	35
3.2.1.6 Cobertura de Nuvens.....	35
3.2.1.7 Massa da Espécie.....	36
3.2.1.8 Comportamento da Espécie.....	36
3.2.1.9 Evento.....	37

3.2.2 Base de Dados - CENIPA.....	37
3.2.2.1 <i>Primeira etapa do tratamento dos dados - CENIPA.....</i>	38
3.2.2.2 <i>Segunda etapa do tratamento dos dados – CENIPA.....</i>	44
3.2.2.3 <i>Análise descritiva dos dados.....</i>	46
3.2.3 Dados de Movimentação de Aeronaves.....	47
3.3 MODELO DE ACIDENTE POR COLISÃO COM AVES.....	48
4 RESULTADOS.....	50
4.1 CENÁRIO DO EVENTO COLISÃO.....	51
4.2 CENÁRIOS PARA O NÓ FASE DE VOO.....	53
4.3 CENÁRIOS PARA O NÓ ALTURA AGL.....	57
4.4 CENÁRIOS PARA O NÓ VELOCIDADE.....	61
4.5 CENÁRIOS PARA O NÓ PARTE ATINGIDA.....	66
4.6 CENÁRIOS PARA O NÓ MASSA DA ESPÉCIE.....	74
4.7 COMPARAÇÃO GERAL DOS IMPACTOS.....	77
5 CONCLUSÕES.....	81
5.1 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS.....	83
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE A – TPCs DA RB DO MODELO DE ACIDENTE DE AERONAVES POR COLISÃO COM AVES NA AVIAÇÃO COMERCIAL.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Reportes de colisões considerados e desconsiderados na amostra por tipo de aviação.....	39
Tabela 3.2. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘células vazias por modelo aeronave.	39
Tabela 3.3. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘desconhecido’ por modelo aeronave.	40
Tabela 3.4. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘geral’ por modelo aeronave.....	41
Tabela 3.5. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘regular’ por modelo aeronave...	43
Tabela 4.1. Probabilidades – Modelo de Acidente de Colisão de Aeronaves com Aves.....	51
Tabela 4.2. Probabilidades cenário sem e com evidência no pouso.	54
Tabela 4.3. Probabilidades cenário com e sem evidência na decolagem.	56
Tabela 4.4. Comparação do impacto dos estados – com evidência no pouso e decolagem.....	57
Tabela 4.5. Probabilidades cenário sem e com evidência até 500 pés de altura.	57
Tabela 4.6. Probabilidades cenário sem e com evidência de 500 a 3.500 pés de altura.	59
Tabela 4.7. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência acima de 3.500 pés de altura.	60
Tabela 4.8. Comparação do impacto dos estados – com evidência para o nó altura AGL.	61
Tabela 4.9. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência até 80 nós de velocidade.	62
Tabela 4.10. Probabilidade cenário sem evidência e com evidência de 80 a 200 nós de velocidade.....	63
Tabela 4.11. Probabilidade cenário sem evidência e com evidência acima de 200 nós de velocidade.....	65
Tabela 4.12. Comparação do impacto dos estados – com evidência para o nó velocidade.	66
Tabela 4.13. Probabilidades cenário sem e com evidência: atinge fuselagem.....	67
Tabela 4.14. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge motor.	68
Tabela 4.15. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge radome.	69
Tabela 4.16. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge para-brisa.....	71
Tabela 4.17. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge asa.....	72
Tabela 4.18. Comparação do impacto dos estados – com evidência no nó parte atingida (fuselagem, radome e para-brisa).....	73

Tabela 4.19. Comparação do impacto dos estados – com evidência no nó parte atingida (motor e asa).....	74
Tabela 4.20. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge ave até 1.500 gramas.	75
Tabela 4.21. Probabilidades cenário sem e com evidência: atinge ave maior que 1.500 gramas.	76
Tabela 4.22. Comparação do impacto dos estados – com evidência para o nó massa da espécie.	77
Tabela 4.23. Comparativo geral dos impactos por estados e cenários com evidência.....	79
Tabela A.1. TPC para o nó Massa da Espécie.....	88
Tabela A.2. TPC para o nó Horário.....	88
Tabela A.3. TPC para o nó Cobertura de Nuvens.	88
Tabela A.4. TPC para o nó Comportamento da Espécie.....	88
Tabela A.5. TPC para o nó Fase de Voo.....	88
Tabela A.6. TPC para o nó Parte Atingida.....	88
Tabela A.7. TPC para o nó Velocidade.....	89
Tabela A.8. TPC para o nó Altura AGL.....	89
Tabela A.9. TPC para o nó Evento – Colisão com Ave.....	89

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1. Grupo e critérios/ fatores das colisões com fauna segundo a FC15.....	14
Quadro 2.2. Critérios e fatores contribuintes metodologia Oliveira (2017).....	16
Quadro 2.3. Síntese estado da arte por autor, fatores e métodos.....	20
Quadro 3.1. Relação dos documentos consultados por ano de publicação e entidade.....	31
Quadro 3.2. Síntese dos fatores selecionados e sua presença na literatura.	32
Quadro 3.3. Estados do fator “Fase de Voo”.	33
Quadro 3.4. Estados do Fator “Altura AGL”.	34
Quadro 3.5. Estados do Fator “Horário”.	34
Quadro 3.6. Estados do Fator “Velocidade”.	34
Quadro 3.7. Estados para o fator “Parte Atingida”.	35
Quadro 3.8. Estados para o fator “Cobertura de Nuvens”.....	35
Quadro 3.9. Estados do fator “Massa da Espécie”.	36
Quadro 3.10. Estados para o fator “Comportamento da Espécie”.	36
Quadro 3.11. Estados para o fator “Evento”.	37
Quadro 3.12. Variáveis critério para seleção dos reportes de colisão do escopo.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Airbus 320 US Airways 1549 – Rio Hudson.....	8
Figura 2.2. Colisões reportadas por frota 1996 – 2022.	10
Figura 2.3. Exemplo rede de confiabilidade.	25
Figura 3.1. Fluxo metodológico da pesquisa.....	29
Figura 3.2. Detalhamento filtro das espécies envolvidas na colisão.....	45
Figura 3.3. Colisões entre aves e aeronaves comerciais de 2011 a 2021.....	46
Figura 3.4. Colisões entre aves e aeronaves comerciais por aeroporto – 2011 a 2021.....	47
Figura 3.5. Movimentação de aeronaves no Brasil de 2011 a 2021.....	48
Figura 3.6. Grafo – Rede bayesiana representada por categorias e seus respectivos fatores...	49
Figura 3.7. BBN – Cenário sem evidência: nós e estados do modelo de colisão de aeronave com aves.....	49
Figura 4.1. BBN – Cenário básico com evidência	51
Figura 4.2. Diferença percentual (%) entre cenário com e sem evidência.	53
Figura 4.3. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre no pouso.....	54
Figura 4.4. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre na decolagem.	55
Figura 4.5. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre até 500 pés de altura.....	57
Figura 4.6. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre entre 500 e 3.500 pés de altura. ...	58
Figura 4.7. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre acima de 3.500 pés de altura.....	60
Figura 4.8. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre até 80 nós de velocidade	62
Figura 4.9. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre entre 80 e 200 nós de velocidade.	63
Figura 4.10. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre acima de 200 nós de velocidade.	64
Figura 4.11. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge fuselagem.	66
Figura 4.12. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge motor.	68
Figura 4.13. BBN – Cenário com evidência – evento ocorre e atinge radome.....	69
Figura 4.14. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge para-brisa.....	70
Figura 4.15. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge asa.....	72
Figura 4.16. BBN – Cenário com evidência no evento ocorre e ave com massa até 1.500 gramas.	74
Figura 4.17. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e envolve ave com massa maior que 1.500 gramas.	76

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

ABEA	Associação Brasileira das Empresas Aéreas
AGL	Acima do Nível do Solo (Above Ground Level)
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANV	Aeronave
ASA	Área de Segurança Aeroportuária
BBN	Rede de Confiabilidade Bayesiana (Bayesian Belief Network)
CENIPA	Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAD	Grafo Direcional Acíclico (Directed Acyclic Graph)
EPL	Empresa de Planejamento e Logística S.A
FAA	Administração da Aviação Federal (Federal Aviation Administration)
FC15	Ficha CENIPA 15
GMT	Tempo Médio de Greenwich (Greenwich Mean Time)
ICAO	Organização da Aviação Civil Internacional (International Civil Aviation Organization)
LABTRANS	Laboratório de Transportes e Logística – Universidade Federal de Santa Catarina
MCA 3-8	Manual de Gerenciamento de Risco de Fauna
ONTL	Observatório Nacional de Transporte e Logística
PGBRF	Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna
PMFA	Plano de Manejo de Fauna
RAB	Registro Aeronáutico Brasileiro
RB	Rede Bayesiana
SAC	Secretaria Nacional de Aviação Civil
SIGRA	Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário

1 INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é essencial para o desenvolvimento econômico e social de um país e, em virtude da possibilidade de conexões rápidas, facilita o deslocamento de bens e pessoas, permite o fluxo de agentes de negócios e impulsiona atividades comerciais (EPL; ONTL, 2022). Trata-se de um dos setores econômicos cuja demanda tem maior correlação com o comportamento da economia como um todo e, em contrapartida, é também ele próprio indutor da atividade econômica de uma cidade, estado ou país (ABEAR, 2016). É, portanto, um dos setores mais relevantes para o desenvolvimento da economia do país e melhoria da qualidade de vida dos cidadãos (OLIVEIRA, 2018).

Por vezes, diante da extensão territorial do Brasil, o transporte aéreo é o único meio de transporte para acessar determinadas localidades e a redução de distâncias entre espaço e tempo promove maior competitividade econômica (EPL; ONTL, 2022). Os impactos econômicos gerados pelo transporte aéreo no setor extrapolam suas atividades específicas, catalisando atividades características de turismo, ajuda humanitária e de saúde, serviços essenciais, oportunidades educacionais e melhoria da qualidade de vida. Grande parte dessas atividades não ocorreriam se o transporte aéreo não interligasse as pessoas de sua origem ao local de concentração dos demais serviços (ABEAR, 2021). Segundo a Associação Brasileira das Empresas Aéreas – ABEAR (2016) o transporte aéreo gera em torno de 6,4 milhões de empregos e R\$312 bilhões em produção no país direta ou indiretamente, induzida (efeito renda) e pelo efeito catalisador no setor de turismo.

Trata-se de um dos mercados mundiais de mais rápido crescimento. Desde a década de 1970, enquanto a aviação global cresceu a uma taxa média anual de 5,5% em volume de passageiros, a aviação brasileira evoluiu ao ritmo de 7,7% ao ano (ABEAR, 2016). Somente o transporte regular interestadual de passageiros no Brasil foi responsável por 72,9% dos embarques em linhas regulares em 2020 (ANAC, 2021a).

Todavia, com o aumento da quantidade de viagens, da frota de aeronaves e dos movimentos de voo, aumentam-se as ocorrências de acidentes e incidentes (CENIPA, 2021; CLEARY; DOLBEER, 2005). Um dos acidentes que representam problema para o setor de aviação, desde que os humanos iniciaram sua aventura pelos ares há mais de 100 anos, são as colisões de aeronaves com aves, que cada vez mais competem por espaço aéreo em céus lotados. (BLOKPOEL, 1976; CENIPA, 2020; CLEARY; DOLBEER, 2005).

Segundo Dolbeer *et al.* (2022) embora as aves sejam componentes ecológicos do meio ambiente e mereçam proteção internacional rigorosa, por vezes podem entrar em conflito com

atividades humanas como a aviação e por conseguinte, as colisões entre aeronaves e aves tornam-se preocupação crescente para a segurança da aviação. A conservação bem-sucedida, em muitas partes do mundo, de muitas espécies de aves, levou ao aumento da população de pássaros que vão representar risco para a aviação (ICAO, 2012).

Ainda de acordo com a ICAO (2012), os modernos aviões de transporte a jato, com sua maior velocidade, foram vistos nas décadas de 1960 e 1970, como estando em maior risco do que seus antecessores movidos à hélice, entretanto, estas novas gerações de aeronaves, continuaram a entrar em serviço para atender a necessidade de tráfego crescente. Segundo o CENIPA (2020) “a baixa velocidade e alto ruído daquelas primeiras aeronaves permitiam maior tempo de reação à fauna e aos pilotos e [...] este cenário retardou a percepção do conflito homem-fauna”. Esta condição descreve a preocupante situação no tocante a segurança aeronáutica.

Estes dois fatores combinados, o tráfego crescente composto por aeronaves mais silenciosas e o aumento das populações das aves de grande porte, contribuem com a probabilidade de ocorrência de colisões envolvendo os dois agentes, aves e aeronaves, configurando sério problema e, portanto, requerendo esforços para controle e monitoramento dos movimentos das populações de aves dentro e nas proximidades dos aeroportos (DOLBEER *et al.*, 2022; ICAO, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

O número de relatos de colisões envolvendo fauna ao Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA, vem crescendo acentuadamente nos últimos anos. No Brasil, no período dos anos de 2016 a 2020, foram relatados 42.765 eventos, e destes, 5.356 se deram por colisão com aves (CENIPA, 2021). Nos Estados Unidos, para o período de 1990 a 2021, 259.577 colisões com fauna foram relatadas e ainda, os dados da *Federal Aviation Administration* – FAA, apontam que colisões com a fauna tiraram a vida de mais de 301 pessoas e destruíram mais de 298 aeronaves de 1998 a 2021 (DOLBEER *et al.*, 2022). A expressiva quantidade de eventos envolvendo colisão com aves se torna mais preocupante conforme estimativa de que apenas de 11 a 25% em média das colisões que efetivamente ocorrem são reportadas aos órgãos competentes (CENIPA, 2021; CLEARY; DOLBEER, 2005; LINNELL; CONOVER; OHASHI, 1996).

Este conflito assume proporções ainda maiores ao passo que colisões significativas – que apresente danos decorrentes – podem causar perdas econômicas substanciais, mortes de tripulantes e passageiros, perda de carga e custos associados para a indústria (ALLAN, 2006; AZABACHE-REQUENA; MARCIAL-RAMOS, 2019; JEFFERY; BUSCHKE, 2018; SOLDATINI *et al.*, 2010). Além dos custos diretos dispendidos em decorrência dos danos ou

prejuízos do evento - como inspeções, reparo de aeronaves ou tempo de inatividade – podem incorrer ainda custos adicionais ou indiretos em decorrência da perda de uso da aeronave ou de procedimentos que viabilizem seu retorno à condição de aeronavegabilidade como, custos decorrentes de voos abortados, reagendamentos, transferências e pernoite de passageiros, experiência dos passageiros (CENIPA, 2020; ICAO, 2012).

Os dados revelam a dimensão do conflito entre a fauna e aviação, não só no Brasil, mas como também no mundo, demonstrando que as aves continuarão a ser potencialmente perigosas e os esforços devem se concentrar na atualização dos sistemas de classificação de risco (JEFFERY; BUSCHKE, 2018).

O Risco de Fauna refere-se ao risco decorrente da utilização do mesmo espaço pela fauna e as aeronaves, seja no solo ou no ar, mensurado em termos de probabilidade e severidade. Uma colisão com ave está incluída no conceito de colisão com fauna e refere-se a um evento ocorrido em ou fora de um aeródromo (CENIPA, 2017). Uma colisão com fauna se trata de evento em que ocorra uma das situações a seguir: testemunho da tripulação; evidência ou dano decorrente identificado na aeronave; carcaça de animal localizado em até 60 metros do eixo de pistas de pouso e de táxi ou 300 metros das cabeceiras; ou presença de fauna em ou fora do aeródromo que exerça efeito significativo sobre a operação de aeronave, como exemplo abortiva de decolagem ou de pouso, saída de pista etc. (CENIPA, 2020).

A maioria das colisões com a fauna, aproximadamente 90%, ocorrem nos aeroportos ou nas imediações deles (ICAO, 2012). Deste modo, as colisões envolvendo aves e aeronaves, ocorrem em aeroportos pois estes dispõem, frequentemente, de itens alimentares, locais para pouso das aves e formação de ninhos, tanto próximos as pistas ou áreas de vegetação (CARDOSO *et al.*, 2014).

Cleary e Dolbeer (2005) relatam que a maioria das colisões ocorrem no ambiente imediato do aeroporto com, aproximadamente, 74% das ocorrências abaixo de 500 pés acima do nível do solo, portanto o sítio aeroportuário e suas imediações se tornam o lugar mais lógico para início do tratamento deste problema. Adicionalmente, o CENIPA (2017) alerta que a maioria das colisões ocorrem na Área de Segurança Aeroportuária – ASA, indicando um ambiente prioritário para ações de gerenciamento.

A natureza e a magnitude dos desafios e problemas enfrentados por cada aeroporto vai depender de muitos fatores interagindo em nível local, como o tipo e volume de tráfego aéreo, populações locais e sazonais de aves, condições de habitat local (CLEARY; DOLBEER, 2005). As aves são atraídas para o ambiente aeroportuário pelas condições atrativas que ele possa oferecer como alimentos desejáveis, água ou habitat (CENIPA, 2017; CLEARY; DOLBEER,

2005; ICAO, 2012). Estas condições de atratividade podem estar relacionadas à cobertura vegetal, drenagem e baixa eficiência em ações de dispersão ativa que vão influenciar na permanência ou não das aves no ambiente aeroportuário (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

A presença das aves portanto, configura potencial para conflitos aéreos com as aeronaves em situação de pouso ou decolagem, imprimindo risco à operação e aos agentes envolvidos. A prevenção de acidentes evoluiu ao longo dos anos de uma postura inquisitiva que se pautava em punição dos envolvidos, a uma abordagem mais ampla que busca identificar ameaças e condições latentes muito antes da ocorrência dos eventos (CENIPA, 2017). Entender os perigos da fauna ou fatores contribuintes do risco aviário, passa então a ser vital para que se possa adotar medidas de gerenciamento de riscos com vistas à mitigação do risco de colisões com aves.

Reconhecendo que a presença de aves dentro ou nas proximidades dos aeródromos representa séria ameaça à segurança operacional de aeronaves, o Anexo 14, Volume 1 da *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2004) exige que ações sejam tomadas para diminuir o risco adotando-se medidas que minimizem a probabilidade de ocorrência de colisões. Seguindo os padrões internacionais, no Brasil, o Manual de Gerenciamento de Risco de Fauna (CENIPA, 2017) orienta que o risco de fauna deve ser mensurado por meio de metodologia formal, em termos de probabilidade e severidade.

O processo de gerenciamento do risco de fauna deve ser desenvolvido considerando localização do aeródromo, tipo de operação e distribuição interna e externa de atrativos, definição de espécies, quantidades e movimentos (CENIPA, 2017, p. 173). Vários estudos realizaram análise de gerenciamento de risco em aeródromos, definindo a probabilidade e severidade no local ou região, por meio de varredura dos fatores anteriormente citados (ALLAN, 2006; LINNELL; CONOVER; OHASHI, 1999, 1996; NIMMAGADDA *et al.*, 2020; SHAW; MCKEE, 2008). Todavia, poucos dedicaram sua análise em abordagem que, proponha modelo geral que permita conhecer a interação entre os fatores e quantifiquem seu impacto para o aumento da ocorrência de colisões.

Dentro desta abordagem, este trabalho busca responder o problema de pesquisa sobre como quantificar o impacto dos principais fatores que envolvem colisões com aves na aviação comercial.

Diante o exposto, este estudo tem como motivação compreender quais os fatores contribuintes existentes e aqueles que mais impactam para o aumento de colisões, de modo que seja possível quantificar a probabilidade de colisões com aves em aeronaves comerciais. Busca-se estudar como os fatores contribuintes podem estar inter-relacionados entre si e, quais são

capazes de explicar maior chance de ocorrência de uma colisão entre aeronaves comerciais e aves.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de acidente para a aviação que seja capaz de quantificar o impacto dos principais fatores que envolvem colisões de aeronaves comerciais com aves em procedimentos de pouso e decolagem.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Definir qualitativamente os fatores que influenciam e como influenciam acidentes de aeronaves por colisão com aves;
- Obter quantitativamente o impacto dos fatores associados ao modelo de acidente;
- Colaborar com a literatura de transporte aéreo do País e com o desenvolvimento de um modelo de acidente capaz de auxiliar no gerenciamento de risco da aviação do Brasil e do mundo.

1.2 JUSTIFICATIVA

As viagens aéreas têm se tornado cada vez mais comuns, o que demonstra que o setor cada vez mais desempenha papel essencial para a movimentação de bens e pessoas. Assim, o setor destaca cada vez mais sua relevância econômica estratégica no Brasil e no mundo. Segundo informações da FAA, os movimentos aéreos comerciais no EUA aumentaram cerca de 3% ao ano entre 1985 e 2004 (DOLBEER *et al.*, 2022). No Brasil, de 2004 a 2019 os movimentos aéreos cresceram a uma taxa média anual de 3,25% (LABTRANS, 2022). Os dados reforçam o aumento da demanda da aviação no Brasil e no mundo.

As aeronaves, cada vez mais presentes nos céus, dividem espaço com várias espécies de aves que ali estão há milhões de anos. Esse ambiente de compartilhamento de espaço aéreo muitas vezes culmina em colisões, que se tornou um dos eventos que mais se repete na aviação. Nos últimos anos a quantidade de relatos realizados ao CENIPA de colisões com aves, quase colisões e avistamentos nos aeroportos e espaço aéreo brasileiro, para o período de 2011 a 2020, aumentaram 14,12%; 20,38% e 50,38% respectivamente (CENIPA, 2021).

Esses fatores contribuem para uma maior probabilidade de ocorrência de colisões e em combinação com outros, como por exemplo, vulnerabilidade e aumento da velocidade das aeronaves, comportamento e presença de aves, e tornam o assunto uma preocupação recorrente entre os agentes do setor da aviação uma vez que, se trata de um problema persistente. Os esforços têm se concentrado na identificação das ameaças e condições que colaboraram para a ocorrência destes eventos.

A literatura quanto a este tema apresenta abordagens variadas para gerenciamento do risco de colisões com aves, indo desde análise de processo de avaliação de risco, planos de manejo de fauna, varreduras da presença de espécies em aeroportos, *rankings* de espécies envolvidas, levantamento dos fatores envolvidos, entre outras. Não obstante, modelos que expliquem como os fatores que envolvem estas colisões se relacionam ou quantifiquem a probabilidade de ocorrência desses ou da colisão, são mais raros na literatura. Deste modo, um modelo que possa explicar esta relação entre os fatores e quantificar seu impacto, se revela como uma forma de contribuir e trazer respostas sobre as colisões entre aves e aeronaves.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este estudo está dividido da seguinte forma: o Capítulo 1 apresentou introdução ao tema a ser tratado bem como, o problema, objetivo, objetivos específicos e justificativa da pesquisa. O Capítulo 2 aborda a revisão da literatura destacando o cenário das colisões com aves, o gerenciamento de risco de fauna, fatores contribuintes presentes na literatura científica e normativa e ainda conceitua o método de pesquisa. No Capítulo 3 é apresentada a metodologia do trabalho, descrevendo o processo de levantamento dos fatores da literatura e dos dados, discorre quanto à construção do modelo e a rede para análise dos fatores e determinação da probabilidade de ocorrência de colisões com aves. No Capítulo 4 são apresentados os cenários com e sem evidência, resultantes das simulações, as probabilidades calculadas e o impacto dos fatores para cada cenário das colisões com aves proposto. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, limitações e recomendações para continuidade do estudo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão da literatura está dividida em quatro partes: i) Colisões significativas e cenário atual brasileiro, que retrata o conflito entre aves e aviões, abordando alguns acidentes marcantes na história da aviação, dados e estatísticas importantes; ii) Gerenciamento de risco e seus normativos, que trata de terminologias, conceitos, definições, legislações e normas vigentes e destaca fatores envolvidos nas colisões presentes em documentos oficiais; iii) Levantamento de fatores da literatura, que apresenta os fatores contribuintes envolvidos nas colisões e os métodos de análise adotados pelos autores na literatura, quando da avaliação do risco de colisões com aves em seus estudos; por fim, iv) conceitua o método de Redes Bayesianas e sua importância para este trabalho.

2.1 COLISÕES SIGNIFICATIVAS E CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO

Logo após os primeiros voos realizados, o conflito entre aves e aviões começara a resultar em colisões. Em 07 de setembro de 1905, a primeira colisão entre aves-avião foi relatada, registrada por *Oliver Wright* em seu diário, e ocorreu quando sua aeronave atingiu um pássaro enquanto ele sobrevoava um milharal perto de Dayton, Ohio (CLEARY; DOLBEER, 2005). Este primeiro evento demonstra que ainda não se tinha a percepção de que as aves se transformariam no tipo de acidente mais repetitivo na aviação mundial (CENIPA, 2017).

A primeira fatalidade humana em função de colisão com ave foi registrada em 03 de abril de 1912, *Calbraith Rodgers*, o primeiro aviador a cruzar os Estados Unidos, colidiu com uma gaiivota que ficou presa aos cabos de comando da aeronave que caiu sobre o mar da Califórnia, resultando no piloto preso aos destroços, submerso em profundidade de 1,5 metro, vindo a se afogar (CENIPA, 2017; CLEARY; DOLBEER, 2005).

Em 4 de outubro de 1960, um turbo hélice *Lockheed Electra* ingeriu estorninhos europeus em todos os quatro motores durante a decolagem do Aeroporto Logan de Boston (Massachusetts), causando a queda do avião no porto de Boston, matando 62 pessoas. Após este acidente, a FAA iniciou ações para desenvolver padrões mínimos de ingestão de aves para motores movidos a turbina (CLEARY; DOLBEER, 2005).

Nas duas últimas décadas, dois grandes incidentes destacam as vulnerabilidades do conflito ave-aeronave e demonstraram a gravidade das colisões de aeronaves com aves. O primeiro deles ocorreu em 15 de janeiro de 2009, quando o voo 1549 da *US Airways* com 155 passageiros a bordo, realizou pouso forçado no rio Hudson, depois de ingerir gansos canadenses em ambos os motores a 2.900 pés acima do nível do solo após a partida do Aeroporto

LaGuardia, Nova York (CENIPA, 2017, 2020; DOLBEER *et al.*, 2022; GHAZAOUI *et al.*, 2022). O episódio ficou conhecido como “*Miracle on the Hudson*” (Milagre no Hudson) pois o evento acabou sem nenhuma vítima fatal. Na Figura 2.1 observa-se os passageiros e tripulantes nas asas do avião, minutos antes do resgate.

Figura 2.1. Airbus 320 US Airways 1549 – Rio Hudson.



Fonte: Steven Day—AP/REX/Shutterstock.com (2009).

Mais recentemente, em 15 de agosto de 2019, o voo 178 da *Ural Airlines* (Airbus 321) com 234 passageiros, realizou também pouso forçado em um milharal a 3 milhas do Aeroporto Internacional de Zhukovsky, Moscou, Rússia, após ingerir gaivotas em ambos os motores durante a decolagem (DOLBEER *et al.*, 2022). O episódio ficou conhecido como “*Miracle in the Corn Field*” (Milagre no campo de milho) pois não houve vítimas fatais, muito embora a aeronave tenha se danificado para além do reparo.

No Brasil, há registros de duas vítimas militares em 1962. Um dos casos ocorreu no mês de fevereiro de 1962, quando na fase de aproximação, durante recuperação de passagem baixa com 4 aeronaves sobre a pista, o piloto mergulhou para evitar a colisão, sendo atingido e colidindo com o solo a 45 graus (OLIVEIRA *et al.*, 2017). O segundo caso, ocorreu em julho de 1962, quando durante voo de fotografia aérea, houve colisão com uma ave que penetrou o para-brisa, atingindo um tripulante que veio a óbito. Existem outros acidentes fatais com indícios que não foram suficientes para tipificação como colisão com fauna (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

O anuário de Risco de Fauna, publicado pelo CENIPA (2021, 2022), abrange todos os eventos com fauna no Brasil que ocorreram a partir do ano de 1996, que foram reportados ao

órgão por meio da Ficha CENIPA 15¹ (FC15). Os dados apresentados no documento possuem análise detalhada sobre o comportamento da fauna com vistas a tornar pública as informações necessárias para promoção da cultura de segurança (CENIPA, 2021).

O processo de gerenciamento de risco tem como base a qualidade e disponibilidade de informações com o objetivo de identificar perigos, possibilitar a adoção de medidas de controle precisas e desenvolvimento de estratégias com foco na mitigação do risco (CENIPA, 2021). No Brasil, o banco de dados SIGRA (Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário), mantido pelo CENIPA é fonte de informações dos relatos de eventos com fauna, sejam eles avistamentos, quase colisão ou colisão. Estes dados permitem que se apliquem critérios de análise de avaliação de risco e consequentemente, aperfeiçoamento de estratégias.

Estimativas apontam que entre 11-25% das colisões que ocorrem de modo efetivo são reportadas aos órgãos competentes (CLEARY; DOLBEER, 2005; DOLBEER *et al.*, 2022; LINNELL; CONOVER; OHASHI, 1999, 1996; SOLDATINI *et al.*, 2010), indicando a necessidade de treinamentos e conscientização contínua quanto a importância dos registros. Contudo, o número de relatos de colisões com fauna tem apresentado tendência de aumento praticamente constante desde o ano de 2008, como pode ser observado na Figura 2.2.

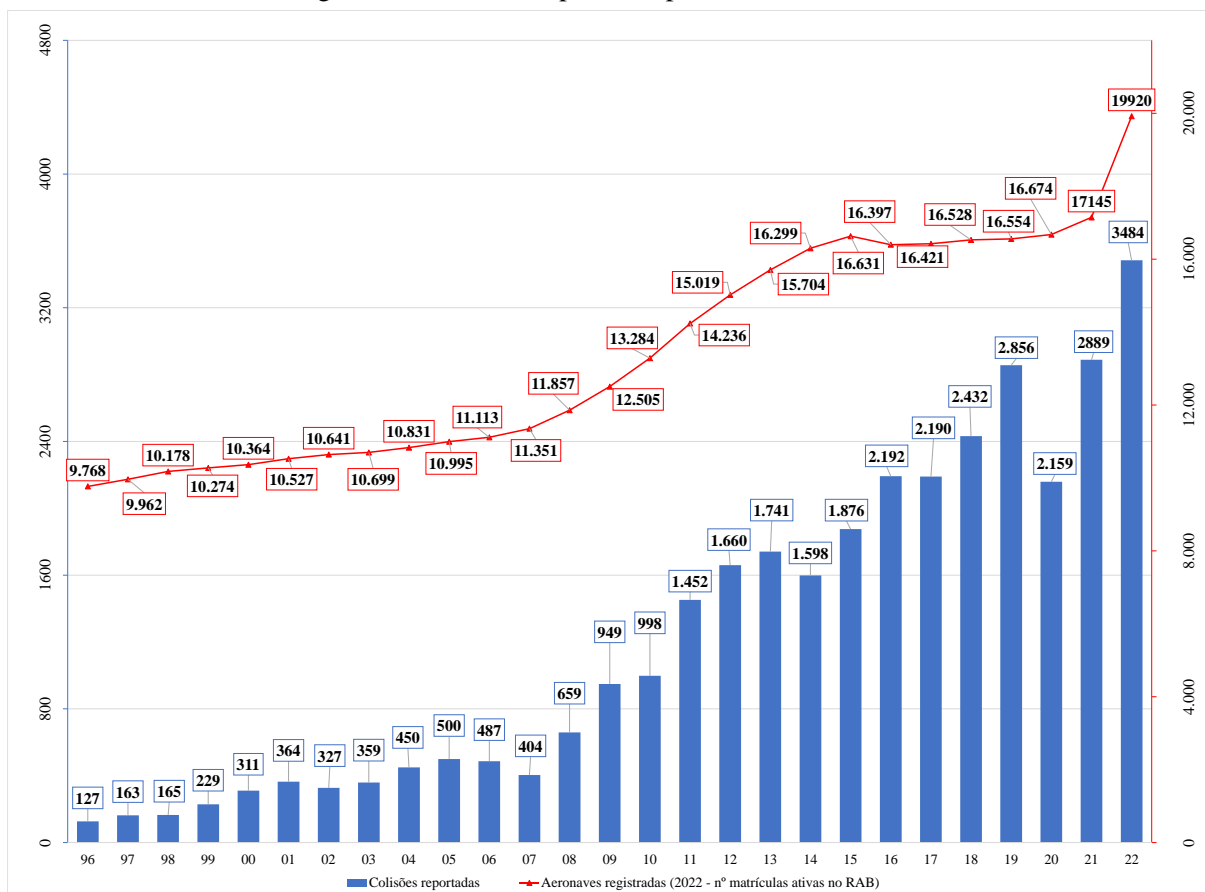
Todavia, no Brasil, comparado ao ano de 2019, em 2020 nota-se queda de 24,4% da quantidade de colisões reportadas devido às medidas impostas de enfrentamento à pandemia de COVID-19 (CENIPA, 2021, 2022, 2023). Segundo Dolbeer *et al.* (2022), embora o declínio na movimentação de aeronaves devido a pandemia tenha resultado em redução das colisões reportadas, a taxa de colisões (colisões/ 100.000 movimentos) diminuiu apenas 6% em 2020 comparado a 2019. Ainda segundo o autor, o COVID-19 afetou, portanto, o pessoal do aeroporto e as estratégias de mitigação, mas a redução do risco de fauna continua sendo de alta prioridade (DOLBEER *et al.*, 2022).

É ainda possível observar, a partir dos dados da Figura 2.2, que no ano de 2021, com o retorno das operações regulares, pós-pandemia, mesmo gradativamente, houve aumento da ordem de 25% no número de reportes de colisões comparado a 2020 (CENIPA, 2022). O recorde de colisões reportadas em 2022 indica ainda aumento na participação dos operadores de aeródromos, controladores de tráfego aéreo, tripulantes e mecânicos de aeronaves e, ao contrário do que possa parecer, este aumento se reflete como positivo, indicando maior atenção

¹ O relato (reporte) de eventos com fauna no Brasil deve ser realizado por meio da Ficha CENIPA 15 (FC15) *online* pelo Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário – SIGRA, disponíveis nos sítios eletrônicos do CENIPA. Disponível em: <http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/sigra/perigoAviarioExt> ou por após *download* do formulário disponível por mensagem eletrônica à Assessoria de Gerenciamento de Risco de Fauna (AGRF) ou por carta ao CENIPA (aos cuidados da AGRF).

e preocupação crescente na geração de dados que aumentem o conhecimento do risco de fauna (CENIPA, 2022, 2023).

Figura 2.2. Colisões reportadas por frota 1996 – 2022.



Fonte: CENIPA (2023). Adaptado pela Autora.

Segundo os relatórios de eventos com fauna recebidos pelo CENIPA (2021) entre os anos de 2011 e 2020, as colisões com aves representam 14,12% do total. Por meio de análise comparativa dos registros no primeiro quinquênio (2011-2015) e no segundo quinquênio (2016-2020), identificou-se uma taxa de crescimento de 20,5% do número de colisões com aves. Este aumento dos registros está relacionado com o aumento da frota brasileira e malha aeronáutica, aumento da população de fauna nas áreas urbanas e ainda o aumento da participação dos atores do setor aéreo crescente na confecção dos relatórios oficiais (CENIPA, 2021). Os custos diretos e indiretos envolvidos, referentes aos eventos que declararam haver danos e/ou prejuízos devido colisões com ave, ultrapassa o valor econômico de R\$43 bilhões de reais entre os anos de 2011-2020 (CENIPA, 2021).

O tipo de operador que concentrou a maioria das colisões reportadas ao CENIPA (2021), foi a aviação civil, seja geral ou regular, em ambos os quinquênios, 2011-2015 e 2016-2020, com 56,86% e 48,40% dos registros realizados respectivamente. Observa-se que, no período de

análise total (2011-2020), houve maior quantidade de relatos de ‘colisões’ no primeiro semestre do ano, com 10.784 relatos no primeiro semestre contra 9.347 no segundo semestre, sendo, portanto, 15,37% maior que o segundo semestre (CENIPA, 2021). Porém, analisando-se mês a mês, janeiro e março apresentaram as maiores quantidades de relatos recebidos no período. Estes fatos, em linhas gerais, demonstram que o primeiro semestre do ano representa período sazonal para ocorrência das colisões com confirmação da análise micro, que aponta o primeiro semestre como detentor dos meses com mais ocorrências de colisões.

É possível que se note um padrão de horário de maior atividade das espécies de fauna que entram em conflito com a aviação, portanto, estas janelas de tempo referem-se aos períodos com maior probabilidade de ocorrerem colisões. Do total de colisões com fauna registrada entre os anos de 2011-2020, 42% ocorreram entre no período da tarde entre as horas 09 e 16 (CENIPA, 2021).

As fases de voo onde ocorreram mais colisões com fauna, entre os anos de 2011-2020, foram pouso, táxi e decolagem, que juntas representam 56,2% das colisões reportadas com danos, consequentemente devido ao impacto destas ocorrências (CENIPA, 2021). As partes das aeronaves mais atingidas pós-impacto numa colisão foram fuselagem e motor para os dois quinquênios, que correspondem a 44,3% e 42,6%, respectivamente, das partes atingidas da aeronave para o primeiro (2011-2015) e segundo (2016-2020) quinquênios (CENIPA, 2021).

Nos últimos anos é crescente o aumento da quantidade de voos dos sistemas de aeronaves remotamente pilotadas (*remotely-piloted aircraft system – RPAS*), popularmente conhecido como “drones”. Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA, o número de solicitações de voo de drones passou de 17 mil pedidos em 2017 para mais de 300 mil requisições em 2022². Além disto, uma novidade na Mobilidade Aérea Urbana (*Urban Air Mobility – UAM*)³ é o desenvolvimento de aeronaves elétricas com capacidade de pousar e decolar na vertical (*Electric Vertical Take-off and Landing – eVTOL*). A entrada em operação dos eVTOL no Brasil e no mundo, traz a expectativa de aumento das operações aéreas nos centros urbanos.

Uma característica comum destes sistemas são que operam, em geral, a baixas alturas. O *eVTOL* em desenvolvimento pela empresa da Embraer, *Eve Air Mobility*, por exemplo, tem

² Informação consultada na notícia intitulada “DECEA atualiza normas de acesso de drones ao espaço aéreo brasileiro”. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=decea-atualiza-normas-de-acesso-de-drones-ao-espaco-aereo-brasileiro

³ Uso de aeronaves para viajar por uma grande área urbana. Historicamente, a UAM tem usado helicópteros, mas os eVTOLs introduzirão um modo de emissão zero, baixo ruído e acessível para voos urbanos. Consultado em: <https://eveairmobility.com/wp-content/uploads/2023/03/EveConopsRJ.pdf>

operação prevista até 1.000 pés⁴ de altura. Esta característica operacional e a expectativa de crescimento da quantidade de voos nos próximos anos dos *RPAS* e *eVTOLs*, aliadas ao fato de que, 74% das colisões com aves ocorrem até 500 pés de altura AGL (DOLBEER, 2006), indicam futuro desafiador com aumento das possibilidade de ocorrência de colisão.

2.2 GERENCIAMENTO DE RISCO E SEUS NORMATIVOS

Esperam-se que colisões entre aves e aeronaves sejam um desafio contínuo nos próximos anos e além (DOLBEER *et al.*, 2022), portanto, um primeiro passo necessário para que se possam propor medidas mitigadoras mais eficazes, perpassa o entendimento deste complexo problema (CLEARY; DOLBEER, 2005). Uma vez que se trata de problema persistente, este processo é vital para que obtenha uma visão geral do risco de colisões, onde devem ser realizados estudos que avaliem o perigo representando pelas aves (ICAO, 2012).

O Manual de Serviços Aeroportuários – parte 3 da ICAO (2012) define que, antes que se discuta uma avaliação de risco, é importante assegurar que se compreenda a diferença das terminologias ‘perigo’ e ‘risco’ que têm significados específicos para a análise, a saber: um perigo se trata de situação que pode levar a ocorrência de um evento que resulta em dano e neste contexto o perigo é a presença de certas aves dentro ou próximo a um aeródromo; já o risco, é a probabilidade de ocorrência do evento danoso multiplicada pela gravidade do dano que poderia resultar e, neste contexto, é a probabilidade de colisão com ave por determinado grupo de espécie multiplicado pela gravidade dos danos causados à aeronave.

Um dos modos comuns de se avaliar o risco, envolve categorização de probabilidade de colisão e gravidade provável em vários níveis, geralmente alto, médio e baixo (ICAO, 2012). Uma abordagem numérica possível para esta análise, utiliza a quantidade de ocorrências encontradas com diferentes espécies como medida de probabilidade e a massa das espécies como medida de gravidade e, então essas medidas são combinadas em uma matriz de risco 5x5 (ICAO, 2012).

Mais especificamente o CENIPA (2017) orienta que o risco é único em cada aeródromo devido sua localização, tipo de operação e distribuição interna e externa de atrativos, que vão definir espécies, quantidades e movimentos diários e sazonais das aves. O gerenciamento do risco portanto, é um processo contínuo em três fases distintas e essenciais: identificação dos perigos; análise das medidas de controle; e, desenvolvimento e execução de estratégias para reduzir exposição, probabilidade e severidade de colisões (CENIPA, 2017).

⁴ Consultado em: https://eveairmobility.com/wp-content/uploads/2023/03/EVE_Miami_Conops_v9_Screen-Version.pdf

O processo de ‘identificação de perigos’ parte da coleta de dados e informações que vão subsidiar a ‘análise de perigo’ destinada a determinar quais das espécies identificadas se configuram como problema e posteriormente na ‘avaliação do risco’, mede-se o risco baseados em critérios quantitativos de severidade e probabilidade (CENIPA, 2017). O gerenciamento de risco é indispensável para manter equilíbrio adequado entre segurança e economia de recursos (CENIPA, 2020).

No Brasil, a Lei nº 12.725/2012 estabelece as regras para gerenciamento e redução do risco de acidentes e incidentes aeronáuticos decorrentes da colisão de aeronaves com espécimes de fauna nas imediações dos aeródromos. Posteriormente, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 466/2015, estabeleceu as diretrizes e procedimentos para elaboração e autorização do Plano de Manejo de Fauna nos aeródromos – PMFA. A Resolução (CONAMA, 2015) apresenta uma metodologia de avaliação de risco de fauna com base em parâmetros de probabilidade (frequência de colisões, massa total das espécies e tempo de permanência no aeródromo) e severidade (proporção de colisões com danos, proporção de colisões múltiplas e severidade relativa).

Em conformidade com e atendendo a legislação vigente, o Comando da Aeronáutica, aprovou a reedição do Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna – PGBRF (CENIPA, 2020) com a finalidade de estabelecer a estrutura de gestão dos dados relativos a avistamentos, quase colisões e colisões com fauna no Brasil e ainda estabelecer o processo de gerenciamento de risco nos aeródromos sendo complementado pelo Manual de Gerenciamento de Risco de Fauna.

O Manual de Gerenciamento de Risco de Fauna (CENIPA, 2017) define as metodologias e procedimentos de mitigação com o objetivo de orientar operadores de aeródromos, de aeronaves e de controle de tráfego aéreo. Trata dos indicadores, mostrando maneiras de se utilizar os dados e complementar com a classificação de risco de fauna; detalha o processo de gerenciamento de risco, identificação de perigos, avaliação de risco, monitoramento e treinamento; e, trata a respeito dos focos atrativos na ASA. Apresenta também, um detalhamento das informações que são coletadas no Reporte de Eventos de Interesse com Fauna no Brasil, realizados por meio da Ficha CENIPA 15 (FC15). O Quadro 2.1 sintetiza as informações coletadas para cada evento com fauna por grupo e fatores pela FC15.

Quadro 2.1. Grupo e critérios/ fatores das colisões com fauna segundo a FC15.

Grupo	Crítérios/Fatores	Definição do fator
Matrícula ANV	-	Grupo letras e números que identifica a aeronave envolvida no evento a ser reportado
Data	-	Grupo de 8 algarismos que define dia, mês e ano do evento
Aeronave	Operador	Organização que explora o uso da aeronave
	Fabricante	Empresa que construiu a aeronave
	Modelo	Tipo ou família da aeronave
	Tipo de aviação	Classificação da aeronave em função de seu tipo de certificação ou força armada a que pertença
Efeito no voo	-	Consequência que afete o perfil original de um voo
Condições do céu	Claro	Sem nuvens
	Poucas nuvens	1 a 4/8 (nuvens)
	Encoberto	5 a 8/8 (nuvens)
	Precipitação	Nevoeiro, chuva ou chuva recente
Motor	-	Fabricante e modelo do componente em caso de colisão
Período do dia	Horário local	
	Horário no fuso GMT-Z ⁵	
	Parte do dia	Alvorada, crepúsculo ou noite, em que o evento ocorreu ou foi detectado
Aeródromo	-	Indicativo de 4 letras (adotados pela OACI) para designar aeródromo mais próximo ou pista em uso quando ocorreu ou foi detectado o evento
Local do evento	ASA	Quando ocorreu até (ASA – sim) ou além (ASA – não) de 20 km do centro da pista mais próxima
	Coordenadas	Radial e distância: posiciona onde ocorreu o evento, com auxílio de mapa ou não
	Altura da aeronave	Distância vertical, em <i>pés</i> (ft), em relação ao terreno no momento do evento a ser reportado.
	Velocidade da aeronave	Componente principal, em <i>nós</i> (kt), da energia de impacto no momento do evento reportado.
Espécime(s) de fauna envolvida	Nome popular ou científico	Lista de grupos e espécies já envolvidos em eventos reportados no país
	Amostra coletada	Segregação e envio de material para identificação de espécie
	Fotografia	Realização de fotografia e seu envio para experts
	Avistada(s)	Quantidade de espécimes visualizados no evento a ser reportado

⁵A letra "Z" identifica o meridiano 0°, conhecido por "Meridiano de Greenwich", utilizado como referência de hora padrão nos meios aeronáuticos. Fonte: <https://www.decea.mil.br>.

Grupo	Crítérios/Fatores	Definição do fator em 6 opções
	Atingida(s)	Quantidade de espécimes que foram atingidos por aeronave no evento a ser reportado em 6 opções
	Tamanho estimado	Dimensão individual da fauna envolvida no evento em 5 faixas de massa corporal (g)
Fase de voo	Táxi Decolagem Subida Cruzeiro Descida Aproximação Pouso Revisão de pista Navegação a baixa altura (NBA) Inspeção de trânsito/ intervoo Estacionamento	Etapa de voo da aeronave no momento do evento
Parte(s) da Aeronave	Radome Para-brisas Nariz Motor(es) Hélice(s) Asa/rotor Fuselagem Trem de pouso Cauda	Partes que efetivamente entraram em contato com fauna, e danificadas, podendo ter sido causado pelo impacto ou em consequência da colisão
Danos ou prejuízos	-	Opções para indicação da existência ou não destas condições
Tripulação alertada p/ presença de fauna	-	Opções para indicar se os tripulantes receberam informações de presença de fauna, além de sua inexistência
Observações adicionais	-	Destinado a digitação livre do relator para complementar o relato

Fonte: CENIPA (2017). Adaptado pela Autora.

Ademais, está contido no Manual de Gerenciamento de Risco de Fauna, uma metodologia específica para avaliação operacional de risco (OLIVEIRA, 2017). A análise realizada dos componentes de risco de fauna proposta pela metodologia, possibilita o estabelecimento de avaliação com uso aplicado na fase de planejamento de voo, utilizando o grau de risco final como ação de mitigação estratégica (OLIVEIRA, 2017). Os principais fatores contribuintes que determinam a probabilidade e severidade das colisões explicados pelo método estão distribuídos entre os critérios: informações de presença de fauna; espaço aéreo; vigilância de trajetória; aeronave; e, solo. No Quadro 2.2. Podemos observar os fatores contribuintes adotados pela metodologia por critério.

Quadro 2.2. Critérios e fatores contribuintes metodologia Oliveira (2017).

Critério	Fatores	Fatores
Informações de presença de fauna	Massa individual por espécie	Até 1,125 kg
	Quantidade de indivíduos (espécimes) por colisão	Massa individual > 1,125 kg
Espaço Aéreo	NCC ⁶	
	Altura de Voo	≤ 500ft AGL ⁷ 501 – 1.500ft AGL 1.501 – 3.500ft AGL 3.501ft AGL – F100 > F100
	Horário de maior atividade	Alta Baixa
Vigilância da Trajetória	Exposição	Formação isolada Formação aberta Formação cerrada
	Velocidade	> 80 KIAS 200 KIAS > V > 80 KIAS > 200 KIAS
Aeronave	Resistência	Limites conhecidos? (sim; não)
	Tripulantes	Mais de um tripulante? (sim; não)
	Assento ejetável	Sim Não
Solo	Concentração de pessoas	Inabitada Esparsamente habitada Habitada Concentradamente habitada

Fonte: (OLIVEIRA, 2017). Adaptado pela Autora.

A Instrução Suplementar nº 153.503-001 (ANAC, 2021b) para análise do risco de fauna em um aeródromo, orienta que sejam considerados dez (10) fatores para cada espécie-problema encontrada, sendo:

- a população global (em número total de indivíduos);
- tamanho (massa);
- número médio de animais encontrados (tamanho médio dos bandos);
- quantidade de tempo presente no aeródromo;
- período do dia em que apresenta maior atividade;
- localização com relação às operações de voo;
- tempo gasto em voo ou em atividade;

⁶ O Nível de Condensação Convectivo - NCC foi adotado com base no fato de que, algumas aves que mais representam risco à aviação brasileira, utilizam correntes ascendentes para manutenção de seus voos. Portanto, a probabilidade de colisões com tais espécies é maior do solo até o NCC, em metros, que resulta de 125 vezes a diferença entre temperatura (T) e temperatura de ponto de orvalho (Po).

⁷ Acima do nível do solo (*Above Ground Level*) – AGL, refere-se, portanto, a altura da aeronave acima do nível do solo. Disponível em: <https://www2.anac.gov.br/anacpedia/sig/tr168.htm>. Acesso em: 20 ago. 2022.

- número de relatos de colisão;
- habilidade de evitar colisões com aeronaves; e
- suscetibilidade a ações de controle de fauna.

A análise dos dez (10) fatores mencionados na Instrução Suplementar, deve permitir o reconhecimento das espécies que provocam risco ao aeródromo e obter classificação que evidencie diferenças entre uma espécie e outra quanto ao grau de risco. Para tal, uma classificação geral do risco com parâmetros por fator que permite que se atribua risco em termos de baixo, médio, alto e muito alto (ANAC, 2021b).

Em síntese, por meio da análise dos dados, com relação às colisões com aves, observações, monitoramento de atividades e o processo de gerenciamento de risco, podem revelar-se tendências, que auxiliarão as autoridades aeroportuárias e demais envolvidos na identificação de áreas e pontos de preocupação que poderão ser contemplados em um programa de controle de aves com vistas a mitigação das externalidades negativas decorrentes dos cenários destas colisões (ICAO, 2012).

2.3 LEVANTAMENTO DE FATORES E MÉTODOS DA LITERATURA

Segundo a ICAO (2012) as avaliações de risco precisam estimar a probabilidade de ocorrência de uma colisão e o nível provável de dano em que possa resultar. Estimar os danos é uma tarefa relativamente direta, partindo da análise da relação entre massa das aves e/ou bandos de pássaros com o nível de danos às aeronaves. Deste modo, quanto maior a ave e maior sua tendência em grupos, maior o risco (ICAO, 2012).

Todavia, estimar a probabilidade de ocorrência de colisão com aves, revela-se ser tarefa mais árdua, uma vez que o comportamento destes animais não pode ser previsto de forma precisa. Porém, várias abordagens possíveis podem ser adotadas, que variam em sofisticação e no nível de habilidades e experiências necessárias (ICAO, 2012). Métodos quantitativos com vistas a realização de avaliação do risco, são ferramentas valiosas para auxílio ao processo decisório, indicando variáveis que podem ser alteradas para redução do risco estimado no voo (CENIPA, 2017).

Vários estudos presentes na literatura avaliam o risco de colisões entre aeronaves e aves, de modo a fornecer uma visão geral do problema, levantando fatores envolvidos e definindo sua influência para a ocorrências dos eventos, bem como buscando estimar sua probabilidade e/ou gravidade relacionada (AZABACHE-REQUENA; MARCIAL-RAMOS, 2019;

DOLBEER, 2000; LINNELL; CONOVER; OHASHI, 1996; SCHUMACHER; HENKES, 2020).

Outra abordagem comum na literatura é a realização de avaliação de risco em um aeroporto específico. São analisados as espécies presentes e seu comportamento, classificando e as ranqueando quanto sua contribuição para o risco de ocorrência de colisão com as aeronaves operadas no aeródromo de modo a determinar espécies e condições prioritárias para medidas de mitigação (AZABACHE-REQUENA; MARCIAL-RAMOS, 2019; GUEDES *et al.*, 2020; LINNELL; CONOVER; OHASHI, 1999; SOLDATINI *et al.*, 2010).

Allan (2006) desenvolveu uma técnica heurística para avaliação do risco, tomando por base dados da aviação civil do Reino Unido, criando uma matriz simples de probabilidade-tempo-gravidade. Utilizou em sua análise a frequência de colisões para diferentes espécies, a proporção de colisões com danos e a massa das espécies. O modelo baseia-se na combinação de uma estimativa da probabilidade de ocorrência de uma colisão com uma espécie de ave em particular, com uma estimativa da gravidade provável do resultado do incidente de colisão. O autor por fim, descreve um processo com etapas a serem seguidas para avaliar o risco de colisão em um aeroporto específico.

Em outro estudo mais recente (ALLAN; BAXTER; CALLABY, 2016), os autores avaliaram se o aumento de relatos de colisões nos aeroportos do Reino Unido pode ter incorrido na validação do processo de avaliação de risco de colisões recomendados por Allan (2006). O aumento do número de relatórios de colisões sem danos causou a falsa impressão de aumento do risco geral dos aeroportos e, portanto, os autores sugeriram uma calibração do processo de avaliação de risco, inserindo na análise a proporção de colisão com danos.

Estudos como o de Ghazaoui *et al.* (2022) buscaram encontrar uma abordagem de mitigação mais eficaz, sejam elas medidas aplicadas do solo, relacionadas as aeronaves ou ainda, combinação destas duas para redução das colisões, utilizando-se modelagem matemática. Shaw e Mckee (2008) desenvolveram um índice de suscetibilidade baseado em bancos de dados que possa avaliar, numericamente, quão suscetíveis os tipos de aeronaves podem ser à ocorrência de colisões, considerando variáveis como área, categoria de peso da aeronave, movimentação de aeronaves e densidade das aves.

Zakrajsek e Bissonette (2005) se dedicaram também ao desenvolvimento de um índice de perigo, calculado por meio de um algoritmo, com foco em identificar grupos de espécies de aves nacionais perigosas para as aeronaves militares, considerando em seu modelo a quantidade de colisões com fauna, espécies envolvidas e os grupos de espécies e ainda classes criadas para os danos causados às aeronaves militares. Cabe aqui ressaltar, que o modelo não incorpora

análise da contribuição individual das diferentes variáveis envolvidas, mas de modo empírico. Soldatini *et al.* (2010) desenvolveram um índice de risco de colisões com aves, com o objetivo de fornecer uma ferramenta de análise para os aeródromos que possa descrever o risco com base na presença real das espécies. Os autores desenvolveram seu modelo para avaliação de risco de colisão, considerando uma abordagem integrativa que combina padrões ecológicos e comportamentais das espécies de aves em relação ao tráfego de aeronaves.

Dolbeer (2006) dedicou-se a análise dos relatórios de colisão com aves e aeronaves civis nos Estados Unidos para determinar a distribuição de colisões por altura (AGL) em relação a estação do ano e hora do dia. Já Jeffery e Buschke (2018) examinaram qual o efeito da urbanização ao redor da Base Aérea de Ysterplaat, na Cidade do Cabo, África do Sul, sobre o risco de colisão entre aves e aeronaves, considerando em sua análise fatores como massa e abundância das espécies, tamanho do bando e comportamento de voo, densidade populacional das aves e grau de urbanização do entorno. Nimmagadda *et al.* (2020) com o uso de aprendizado de máquina, tentaram prever se os acidentes aéreos ocorreram por colisões com aves ou não, concluindo que o algoritmo de Naive Bayes entrega esta análise com precisão.

O trabalho de Bandeira, Correia e Martins (2017) mostram como relacionar fatores de diferentes categorias para acidentes de *overrun* em aeronaves comerciais; e, em Bandeira, Correia e Martins (2018), mostram a descrição de fatores de várias categorias e como relacioná-los em uma análise probabilística usando redes bayesianas. Oliveira (2018) realizou análise de acidentes aéreos levantando fatores envolvidos por meio da pesquisa com especialistas e descrevendo como estes se relacionam entre si. O autor analisa diferentes cenários de acidentes, sendo um deles o por colisão com aves. Em sua pesquisa, considera os fatores: local da colisão (parte atingida), etapa do voo, velocidade e categoria da aeronave para descrever a probabilidade de ocorrência da colisão (sucesso) ou não. Para tal, os métodos DEMATEL e de redes bayesianas foram aplicados tornando possível o cálculo das probabilidades e suas inferências para o cenário considerado.

O Quadro 2.3 sintetiza alguns dos estudos que se dedicaram a explicar, por meio de diferentes modelos, as colisões entre aeronaves e aves. Nela estão destacados os autores e ano de publicação, o objetivo central de suas análises, fatores e/ou variáveis considerados, métodos empregados e seus principais resultados.

Quadro 2.3. Síntese estado da arte por autor, fatores e métodos.

Referência	Objetivo	Fatores	Método	Resultados
Linnell, Conover e Ohashi. (1996)	Analisaram como os fatores contribuem com as colisões com aves no Aeroporto de Lihue, Havai.	Nº de colisões; Nº de aves envolvidas; Espécies; Massa das espécies; Frequência, direção e velocidade do vento; Cobertura de nuvens; Chuva (precipitação); Local da colisão na pista; Parte atingida e tipo de aeronave; Fase de voo; Movimentação de aeronaves.	Regressão Correlação de Pearson Teste t e qui-quadrado Análise Post Hoc Histograma	<ul style="list-style-type: none"> • 25% colisões relatadas; • Ave única(91%), duas(5%) e mais que três(4%); • Variação da taxa de colisão entre os anos e frequência de colisões mensalmente (49% outubro); • Correlação positiva com o nº de colisões; • Quantidade de chuva (maior frequência de colisões na estação chuvosa); • Correlação negativa entre danos (valor monetário) e massa média das aves; • Não ocorreram em proporção às direções do vento e houve diferença significativa com relação a velocidade do vento (mais colisões com ventos fortes); • Mais colisões com cobertura de nuvens entre 40-50%; • Colisões: não uniformes ao longo do dia; parte mais atingidos foram motor, radome e para-brisa; mais frequência nos pousos (68%) e no ponto de toque da pista; • 78% das ingestões resultaram em danos.
Linnell, Conover e Ohashi (1999)	Avaliaram se estatísticas de colisão de aves derivadas dos relatórios são tendenciosas.	Massa e nº de aves; Hora do dia e época do ano; Fase do voo; Localização na pista; Direção e velocidade do vento; Cobertura de nuvens.	Regressão Testes qui-quadrado e Fisher	<ul style="list-style-type: none"> • Em torno de 25% das colisões foram relatadas pelos pilotos; 80% das colisões atribuídas a 6 espécies e não há relação entre massa das espécies e proporção das colisões; • 91% das colisões envolveram aves únicas; • Taxa de notificação dos pilotos independentes da direção e velocidade do vento e da fase 'decolagem', mas diferiram em relação a localização da colisão na pista.
Zakrajsek e Bissonette (2005)	Desenvolveram avaliação de risco para identificação de aves perigosas para aeronaves militares.	Nº de colisões; Espécies; Grupo de espécies; Danos as aeronaves; Custos relatados.	Índice de Perigo (HI)	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de Índice de Perigo (HI) que considera nº de colisões por grupo de espécies e constantes de ponderação com base em custos relatados.

Referência	Objetivo	Fatores	Método	Resultados
Allan (2006)	Avaliaram o risco de colisão por meio da criação de matriz de probabilidade-tempo-gravidade.	Frequência de colisões por espécie; Proporção de colisões com danos; Massa das espécies.	Regressão Linear Ponderada com Matriz de Risco	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento e descrição de protocolo (processo) de avaliação de risco de colisões.
Dolbeer (2006)	Analizou os relatórios de colisão para determinar distribuição por altura.	Colisões por altura; Colisões com danos; Estação do ano; Hora do dia; Movimentação de aeronaves.	Teste qui-quadrado Teste multinomial	<ul style="list-style-type: none"> 39.961 colisões com aves relatadas com altura fornecida destas, 74% dentro dos 500 pés; 19% de 501-3500 pés e 7% acima de 3500 pés; Das colisões com danos relatadas, 66% ocorreram dentro dos 500 pés; Aves aquáticas representaram 53% das aves acima de 3.500 pés; 2,5 vezes mais colisões relatadas durante o dia.
Shaw e Mckee (2008)	Avaliaram a suscetibilidade de colisões de aeronaves e aves.	Localização e hora; Altitude; Condições do céu; Fase de voo; Efeitos no voo; Partes atingidas; Espécies; Quantidade atingida; Tamanho das aves.	Cálculo densidade; e Índice desenvolvido	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de fórmula para cálculo do índice de suscetibilidade de colisão.
Soldatini <i>et al.</i> (2010)	Desenvolveram ferramenta de análise de risco com base na presença real de aves nos aeroportos.	Movimentação de aeronaves; Quantidade de colisões; Massa das espécies; Habitat e dieta das aves; Comportamento das espécies; Nº de indivíduos (aves); Estação do ano e Dissuasores; Trabalhos de manutenção; Condição do solo; Hora do dia e temperatura; Local do aeroporto (pista, área de pouso etc.).	Teste de Durbin-Wats ANOVA MANOVA teste U de Mann-Whitney teste de Tukey-HSD Birdstrike Risk Index/ BRI (desenvolvido)	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de ferramenta analítica (BRI) para cálculo do índice de colisão combinando padrões ecológicos e comportamentais das espécies de aves em relação ao tráfego de aeronaves.

Referência	Objetivo	Fatores	Método	Resultados
Allan, Baxter e Callaby (2016)	Avaliaram o aumento do número de relatórios sobre colisão no Reino Unido	Massa das espécies; Nº de colisões; Nº de colisões com danos.	Regressão Linear Ponderada com Matriz de Risco	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de cálculo com relação de massa das aves e percentual de colisões com danos com dados do país de análise (Modelo proposto por ALLAN (2006) calibrado).
Jeffery e Buschke (2018)	Examinaram efeito da urbanização em torno de uma base aérea sobre o risco de colisões.	Massa das espécies; Tamanho do bando; Comportamento de voo; Abundância de espécies; Grau de urbanização; Densidade populacional (aves).	Análise Hawth (GIS) Função de detecção de distância (modelagem) Regressão Linear Teste F (Anova) Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis	<ul style="list-style-type: none"> Urbanização responsável por 18% da variação de riqueza de espécies (não significativa) e 48% de variação na densidade de aves (estatisticamente significativa).
Oliveira (2018)	Analizou fatores envolvidos em alguns cenários de acidentes buscando entender como relacionam-se entre si.	Local da colisão; Etapa do voo; Velocidade da aeronave; Estado da aeronave.	Redes de confiabilidade Bayesianas DEMATEL	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de modelo para análise de diferentes cenários de acidentes.
Nimmagadda <i>et al.</i> (2020)	Previram se o acidente aéreo ocorreu devido colisão com ave usando aprendizado de máquina.	Local e hora; Altitude; Fase de voo e partes atingidas; Efeitos no voo; Condições do céu; Espécies; Quantidade atingida; Tamanho das aves.	Matriz de confusão Árvore de Decisão K-neest Neighbors (KNN) Naive Bayes	<ul style="list-style-type: none"> Algoritmo mais eficaz: Gaussian Naive Bayes (prevê se houve colisão com 86% de precisão); Fauna de pequeno porte apresentou maior impacto e fases pouso, corrida da decolagem e altitudes maiores que 1000ft apresentaram maiores chances de colisão; Condições do céu exerceu pouca influência nos danos.
GHAZAOUI <i>et al.</i> (2022)	Avaliaram desempenho de diferentes medidas de mitigação do risco de colisão.	Nº de aeronaves suscetíveis; Nº de aeronaves danificadas; Nº de aeronaves reparadas; Nº de aves em um aeroporto.	Teoria de controle ótimo Princípio do Máximo de Pontryagin Equação logística de Verhulst.	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de modelo matemático discreto para controlar o número de aves nas proximidades de um determinado aeródromo e reduzir número de aeronaves suscetíveis a colisão estudando estratégias ótimas.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Há uma grande predominância de estudos que consideram abordagens numéricas que envolvem obter a quantidade de ocorrências por espécies e usar desta informação para atribuí-las a um *ranking* de classificação de perigo, portanto considerando a avifauna local.

Uma análise mais aprofundada e abrangente dos fatores contribuintes para a probabilidade de ocorrência de uma colisão com aves e como estes se relacionam entre si – está ausente na maioria dos procedimentos de avaliação de risco, exceto em Oliveira (2018). Destaca-se ainda que, modelos de acidentes que possam relacionar e/ou quantificar o impacto dos fatores envolvidos nesse tema são escassos na literatura.

2.4 REDES BAYESIANAS

A probabilidade se dedica ao estudo da aleatoriedade e da incerteza e pode ser aplicada para calcular as possibilidades de ocorrência de muitos eventos (DEVORE, 2006). Os estudos de probabilidade que envolvem a ocorrência destes eventos ou fenômenos, podem ser expressos por um modelo probabilístico (OLIVEIRA, 2018). Modelos probabilísticos são capazes de atender a conhecimentos especializados incertos em sua representação e raciocínio e, são representados, por relações causais entre variáveis e suas medidas de probabilidades associadas (KRIEG, 2001).

Cada variável em um modelo probabilístico pode assumir uma série de estados mutuamente exclusivos e coletivamente exaustivos. Variáveis de valor discreto têm um número finito de estados possíveis e sua distribuição de probabilidade é representada por uma função de massa do tipo somatório. Já as variáveis de valor contínuo assumem um número infinito de estados possíveis e sua distribuição de probabilidade é representada por uma função de densidade de probabilidade (KRIEG, 2001).

Assim, a probabilidade de um evento é uma medida de quão provável é que o evento ocorra, portanto, suas possibilidades de ocorrência. Um evento será condicional a um segundo evento se sua probabilidade for alterada pelo conhecimento do estado do segundo evento (KRIEG, 2001). O cálculo de uma probabilidade posterior a partir de probabilidades anteriores dadas e da probabilidade de um evento ocorrer condicionado, segundo o Teorema de Bayes. Este cálculo, se baseia na Lei da probabilidade total, como pode ser observado na Equação (3.1), onde os eventos do conjunto A mutuamente exclusivos e exaustivos (DEVORE, 2006; OLIVEIRA, 2018).

$$P(B) = P(B|A_1)P(A_1) + \dots + P(B|A_k)P(A_k) = \sum_{i=1}^k P(B|A_i)P(A_i) \quad (3.1)$$

Onde:

$P(B)$: Probabilidade do evento B ;

$P(A)$: Probabilidade do evento A ;

$P(B|A)$: Probabilidade condicional de B dado que ocorreu A ; e,

k : coleção de eventos mutuamente exclusivos e exaustivos.

Esta proposição será tomada como base para o estudo dos eventos ou fenômenos que envolvem um número grande de fatores que interagem entre si de forma causal (OLIVEIRA, 2018)

2.4.1 Modelos de Dependência

Um modelo de dependência é um modelo probabilístico no qual a relação entre cada uma das variáveis é capturada, ou seja, ele captura as dependências entre os diversos eventos e dados que o modelo representa. Todas as distribuições de probabilidade são modelos de dependência (KRIEG, 2001) Deste modo, um conjunto de variáveis disjuntas que representam uma proposição em um domínio, o modelo de dependência é uma lei que determina um subconjunto de variáveis que tem relação causal entre si (OLIVEIRA, 2018).

Estes modelos podem ser representados por grafos, que são um conjunto de nós ou vértices conectados por conjunto de arcos ou arestas. Um grafo direcionado possui arcos com direção explícita, implicando influência em um nó para o outro. Além disso, os grafos podem ser cíclicos ou acíclicos. Grafos não direcionados e acíclicos direcionados são ambos grafóides, isto é, estão de acordo com os axiomas para dependências probabilísticas, ou seja, simetria, decomposição, união fraca, contração e interseção. Cada arco de um grafo pode ter um “peso” ou “valor” associado a ele, indicando a força da interação entre os dois nós que ele conecta. A natureza deste peso depende da aplicação. No caso de modelos probabilísticos por exemplo, pode representar a probabilidade de um determinado evento ocorrer (KRIEG, 2001).

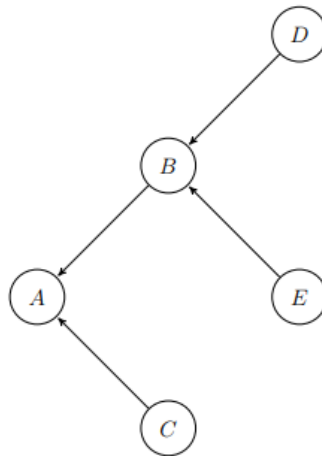
2.4.2 Redes de Confiabilidade Bayesianas

Redes de confiabilidade são representações gráficas de modelos que capturam as relações entre as variáveis do modelo. Elas identificam as variáveis que interagem diretamente e simplificam o cálculo de confiabilidade ao limitar o processamento de cada variável apenas aos nós que está diretamente conectada. As redes podem usar grafos direcionais ou não direcionais para representar um modelo de dependência, no entanto, os direcionais fornecem melhor

representação e tem capacidade de representar ampla gama de independências probabilísticas. As redes de grafos não direcionais são chamadas de redes de Markov (KRIEG, 2001).

Uma rede de confiabilidade causal é composta por um grafo direcional acíclico (DAG – *Directed Acyclic Graph*), que representa um modelo de dependência em um domínio ou universo de interesse. Os arcos direcionais na rede representam influências causais e, essa natureza permite que as independências sejam representadas pela rede. O conceito de causalidade ou direcionalidade em uma rede introduz uma estrutura hierárquica na rede e geralmente é expressa de maneira semelhante a uma árvore genealógica. As variáveis (nós) que são causas de um nó específico são chamadas de “pais” e o “filho” de um nó, é influenciado diretamente por esse nó, ou seja, é consequência desse nó. Um nó raiz não tem pais e um nó folha não tem filhos (KRIEG, 2001). A Figura 2.3 representa uma rede de confiabilidade simples de modo a ilustrar os conceitos apresentados até aqui.

Figura 2.3. Exemplo rede de confiabilidade.



Fonte: (OLIVEIRA, 2018).

Uma rede de confiabilidade bayesiana (BBN – *Bayesian belief network*) é um tipo de específico de rede de confiabilidade causal caracterizada pelo uso do cálculo Bayesiano para determinar as probabilidades de estado de cada nó ou variável das probabilidades condicionais e anteriores predeterminadas (KRIEG, 2001). A representação gráfica facilita o entendimento de sistemas que dependem de muitos fatores uma vez que é possível a compreensão com facilidade das relações de dependência (OLIVEIRA, 2018).

Redes Bayesianas (RB), em geral, são boas ferramentas para solução de problemas relacionados a gerenciamento de risco, pois é possível atualizar o cálculo de probabilidade de um evento ocorrer na medida que evidências são acrescentadas ou alteradas (OLIVEIRA, 2018). Uma RB é definida pelo trio (η, θ, X) , onde η é uma estrutura DAG e θ é um conjunto de

parâmetros específicos de distribuições de probabilidades condicionais envolvendo um conjunto X de variáveis aleatórias discretas (ARA-SOUZA, 2010; OLIVEIRA, 2018).

Em relação à distribuição de probabilidade condicional, um importante elemento da RB é a tabela de probabilidade condicional onde todas as variáveis têm uma tabela associada. A finalidade da tabela é estabelecer a probabilidade de o evento do nó ocorrer com base nos estados dos nós pais. No caso dos nós pais, a tabela apresenta a probabilidade de cada estado do nó ocorrer e a tabela de um nó filho é composta por todas as combinações possíveis dos seus pais (OLIVEIRA, 2018).

2.4.3 Evidência e Construção de Redes Bayesianas

Uma rede de confiabilidade bayesiana representa um modelo probabilístico completo de todas as variáveis em um domínio e, portanto, ele contém todas as informações necessárias para responder a qualquer questão probabilística sobre qualquer das variáveis desse domínio. Essas questões geralmente restringem-se a determinação da hipótese mais provável dadas as observações disponíveis (KRIEG, 2001). Em um cenário no qual algum estado dos nós é conhecido, é possível indicar ao modelo qual o valor do nó, de modo que a rede é atualizada com base nas evidências observadas (OLIVEIRA, 2018). A aplicação de evidências não é estática, está em andamento, pois as observações chegam constantemente ao longo de um período (KRIEG, 2001).

Para a construção de uma RB deve-se determinar a estrutura de rede e as probabilidades mais apropriadas para sua aplicação e envolve os seguintes passos iniciais: identificar os objetivos do modelo; identificar todas as possíveis fontes de dados que possam ser relevantes para atingir os objetivos; seleção dos dados que são significativos e valiosos no contexto do modelo; e, organização dos dados selecionados em variáveis que tenham estados mutuamente exclusivos e coletivamente exaustivos (HECKERMAN, 1996; KRIEG, 2001).

2.4.4 Considerações sobre a escolha do método

Uma rede bayesiana é um modelo e, reflete os estados de alguma parte do mundo que está sendo modelado e descreve como esses estados estão relacionados por probabilidades. Um modelo geralmente é útil se nos ajudar a compreender melhor o universo que estamos a modelar e se nos permitir realizar previsões sobre como este universo se comportará e, muitas vezes é mais fácil experimentar o modelo em comparação com a realidade (NORSYS, 2022).

Para que seja possível prever o que provavelmente aconteceria quando algo mais acontecesse, são dispendidos esforços na construção de modelos probabilísticos de mundo de

‘distribuição conjunta’ e, esta é uma tabela de todas as probabilidades de todas as combinações possíveis de estados nesse modelo. Para modelos de qualquer complexidade razoável, a distribuição conjunta pode resultar em milhões, trilhões ou um número inacreditável de entradas. As redes bayesianas são, portanto, um dos modos que permitem uma economia de espaço de tabela e computação uma vez que, relaciona nós probabilisticamente relacionados por algum tipo de dependência causal (NORSYS, 2022).

Podem ser usadas onde estejam envolvidas modelagens de realidades incertas e, portanto, com probabilidades presentes. São úteis em diversos focos de análise, como em casos de diagnóstico; previsão (com fornecimento de evidências de eventos passados); gestão de riscos financeiros; modelagem de ecossistemas; fusão de sensores (problemas em que dados de várias fontes devem ser integrados para se chegar a uma interpretação de uma situação); monitoramento e alertas, entre outros (NORSYS, 2022).

Oliveira (2018) analisou alguns cenários de acidentes aéreos utilizando o método de redes bayesianas em sua análise com o objetivo de propor um modelo como ferramenta que possa auxiliar o treinamento de pilotos e na tomada de decisão com vista à prevenção de acidentes. O foco do trabalho do autor, foi a análise dos fatores envolvidos nos cenários de acidentes analisados, buscando o entendimento de como eles se relacionam entre si.

Bandeira (2018) em sua tese buscou desenvolver um modelo de acidente para saída de pista de aeronaves de médio e grande portes com o intuito de avaliar a segurança operacional durante a aproximação e pouso segundo uma abordagem probabilística. O método de redes bayesianas foi utilizado pela autora pois permitiu a agregação das árvores lógicas construídas e a obtenção de análise probabilística do ‘evento-topo’ definido.

Logo conclui-se que as redes bayesianas são adequadas para análise das incertezas envolvidas nos acidentes. Uma vez que, o objetivo deste estudo contempla o desenvolvimento de modelo de acidente capaz de quantificar o impacto dos principais fatores que envolvem colisões de aves e como os fatores se relacionam entre si, o método de redes bayesianas foi selecionado como meio para a análise probabilística.

3 MATERIAIS E MÉTODO

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos aplicados nesta pesquisa e está dividido nas seguintes seções: i) levantamento dos fatores; ii) levantamento de dados; e, iii) modelo de acidentes por colisão com aves.

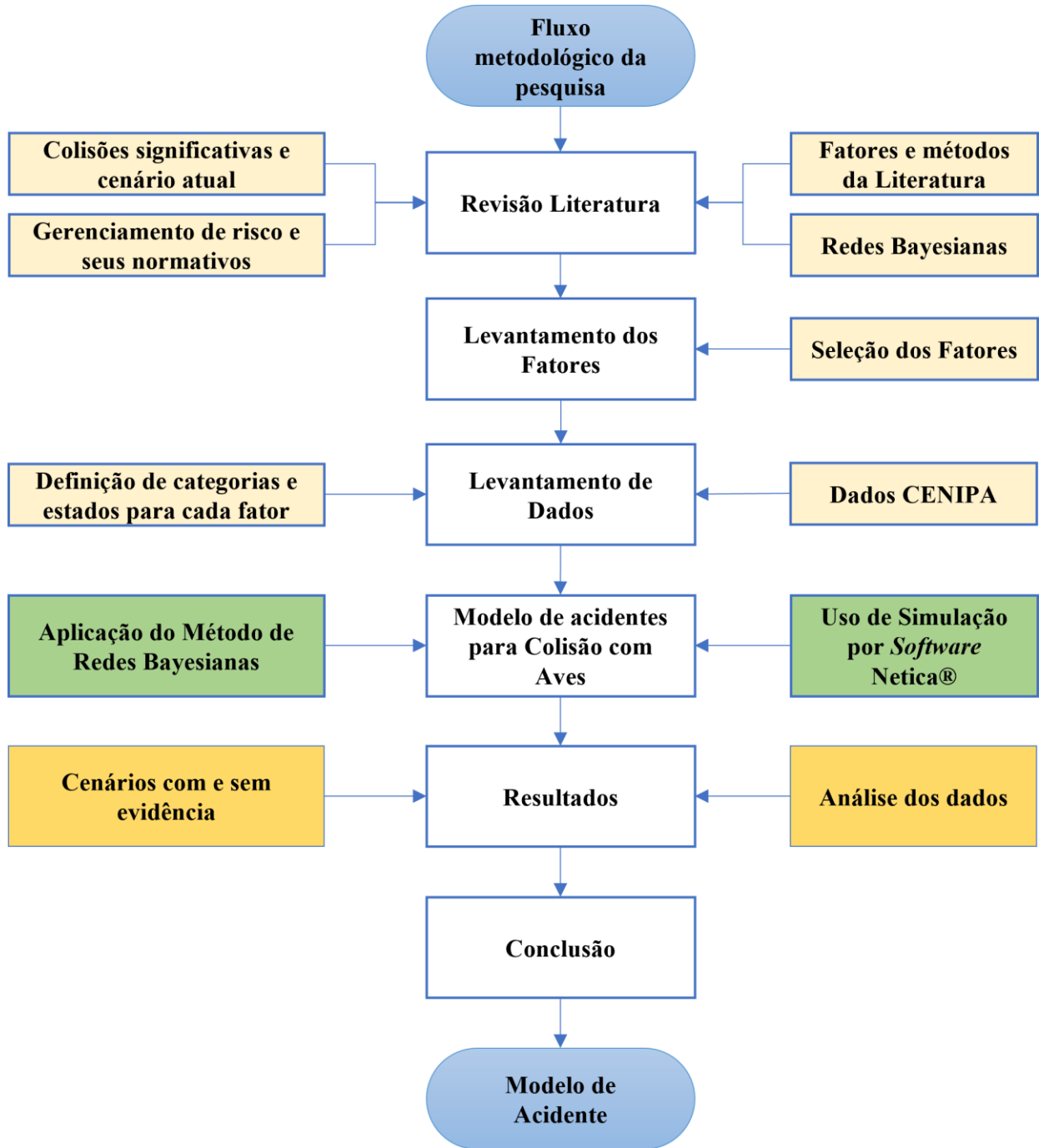
A primeira seção, detalha os fatores contribuintes das colisões de aeronaves com aves selecionados da literatura para aplicação no modelo; a segunda seção esclarece a seleção dos estados de cada fator e o levantamento e tratamento dos dados fundamentais para as probabilidades do modelo; por fim, a terceira seção expõe o modelo proposto em uma BBN desenvolvida neste trabalho apresentando a relação entre os fatores.

O processo metodológico a ser percorrido para que se alcance os objetivos deste estudo, foi fragmentado em etapas. A primeira etapa consiste em ‘revisão da literatura’ que teve por foco buscar por informações que descrevessem um panorama do problema das colisões entre as aeronaves e aves e uma verificação dos fatores contribuintes das colisões e métodos de análise da literatura científica e normativa. Este item foi fundamental ao desenvolvimento da segunda etapa, que levantou os principais fatores envolvidos nas colisões descritos pela literatura com seleção daqueles a serem adotados no modelo a ser proposto.

As etapas até aqui descritas possibilitaram o desenvolvimento da terceira etapa que se concentrou no ‘levantamento dos dados’ para construção do modelo, dividido em duas partes. Primeiramente foi realizada a ‘definição dos estados’ para cada fator e na sequência realizado levantamento e tratamento dos dados do CENIPA, cruciais ao levantamento das probabilidades a priori para alimentar o modelo.

A quarta etapa do fluxo metodológico consiste em apresentar o modelo de acidentes aplicado ao método de Redes Bayesianas, demonstrando como a relação entre os fatores da rede foram construídos. Os fatores foram divididos em quatro categorias, onde é apresentado o relacionamento direto e indireto entre eles. A Figura 3.1 sintetiza o fluxograma metodológico adotado no estudo, onde são descritas a sequência de etapas.

Figura 3.1. Fluxo metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Definido o modelo de acidente, a quinta etapa tratará dos ‘resultados’ da análise e quantificação do impacto dos fatores envolvidos nas colisões após inferências realizadas com auxílio computacional, para os cenários com evidência e sem evidência. Por fim, a sexta etapa finaliza o fluxo metodológico apresentando as conclusões e considerações.

3.1 LEVANTAMENTO DOS FATORES

Com o intuito de identificar fatores relevantes envolvidos nas colisões com aves para composição do modelo, utilizou-se de processo de revisão de literatura exploratória. Para tal, o procedimento de revisão se dividiu em duas etapas. Primeiro, foi realizado um levantamento da literatura científica em busca de estudos que tenham realizado análise das colisões com aves e destacado fatores contribuintes envolvidos. A segunda etapa, consistiu em levantamento de literatura documental (normativa) quanto ao risco aviário que tenham descritos fatores associados.

3.1.1 Primeira Etapa

Para realização do levantamento da literatura científica foram utilizadas como ferramentas de pesquisa as bases *Research Gate*, *Scopus* e *Google Acadêmico*. Preliminarmente, não foi adotado filtro referente ao período de publicação dos estudos. As seguintes palavras-chaves em inglês foram utilizadas para realização da busca: *birdstrike*; *aircraft*; *airport*. Os títulos dos trabalhos publicados foram o critério utilizado para seleção dos estudos neste primeiro momento.

Após realização dos procedimentos iniciais descritos, foram baixados, com base nos títulos, 28 estudos que abordam o assunto – artigos científicos, trabalho de conclusão de curso, dentre outros. Na sequência, os estudos foram filtrados com base na leitura dos resumos e foram descartados os trabalhos que não analisaram, de algum modo, fatores envolvidos em colisões com aves. Ao fim deste último filtro, procedeu-se a leitura completa dos 12 estudos selecionados após aplicação do critério de exclusão. Destes estudos, foram catalogados os fatores contribuintes analisados pelos autores, metodologia e métodos de análise empregados e principais resultados (Quadro 2.3).

3.1.2 Segunda Etapa

A leitura dos trabalhos considerados como descritos na Etapa 1, permitiram a consulta a normativos citados ao longo destes textos. Ademais, também foram consultados documentos do Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos – CENIPA; da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC; *Federal Aviation Administration* – FAA; *Internacional Civil Aviation Organization* – ICAO e do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. O Quadro 3.1 apresenta os documentos normativos que foram consultados para verificação de fatores contribuintes com análise recomendada. Os fatores encontrados na literatura normativa podem ser consultados no Capítulo 2, Item 2.2 deste estudo.

Quadro 3.1. Relação dos documentos consultados por ano de publicação e entidade.

Documento	Ano	Entidade
Anexo 14, Volume 1 - <i>Aerodromes</i>	(2004)	ICAO
<i>Wildlife Hazard Management at Airports - A Manual for Airport Personnel</i>	(2005)	Cleary e Dolbeer; FAA
<i>Airport Services Manual - Part 3</i>	(2012)	ICAO
Resolução nº 466	(2015)	CONAMA
Manual de Gerenciamento de Risco de Fauna MCA 3-8	(2017)	CENIPA
Lista preliminar de Perigos - Aeroportos Classe I-B	(2018)	ANAC
Plano Básico de Gerenciamento de Risco de Fauna PCA 3-3	(2020)	CENIPA
Instrução Suplementar nº153.503-001	(2021b)	ANAC
Anuário de Risco de Fauna 2011-2020	(2021)	CENIPA
Anuário de Risco de Fauna 2021	(2022)	CENIPA
<i>Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States, 1990-2021</i>	(2022)	FAA

Fonte: Levantamento realizado pela autora (2023).

3.1.3 Seleção dos Fatores

Ressalta-se que há uma vasta gama de fatores citados que podem contribuir para a ocorrência de colisões. Todavia mediante a revisão da literatura, tornou-se possível a observação dos parâmetros que são recorrentes em mais de um dos estudos. Nas pesquisas que realizam análise do cenário e fatores contribuintes relacionados às colisões entre aeronaves e aves são utilizadas abordagens variadas com uso de diferentes métodos e modelos de análise. Há estudos que focam na análise da presença de espécies e suas características, existência de focos atrativos, histórico de colisões, análise com vistas à melhoria do processo de gerenciamento de risco, entre outros.

O Quadro 3.2 sintetiza os fatores relevantes que foram selecionados da literatura para a construção do modelo de acidente a ser proposto e ainda, a presença de cada um destes fatores nos estudos analisados e considerados nesta pesquisa (provenientes da literatura científica ou normativa).

As definições dos fatores: ‘fase de voo’, ‘altura’, ‘horário’, ‘velocidade’, ‘parte atingida’ (parte aeronave), ‘cobertura de nuvens (condições do céu) e ‘massa da espécie’ seguem a mesma conceituação que na Ficha CENIPA 15 do CENIPA, conforme descrito no Quadro 2.1. Já o fator ‘comportamento da espécie’ refere-se tendência de formação das aves em voo, se em bandos ou em voo solitário, conforme citado por Linnell, Conover e Ohashi (1999, 1996).

Quadro 3.2. Síntese dos fatores selecionados e sua presença na literatura.

Autores	Fase de voo	Altura	Horário	Velocidade	Parte atingida	Cobertura de Nuvens	Massa espécie	Comportamento espécie
Linnell, Conover e Ohashi (1996)	X				X	X	X	X
Linnell, Conover e Ohashi (1999)	X		X			X	X	X
Zakrajsek e Bissonette (2005)					X			
Allan (2006)							X	
Dolbeer (2006)		X	X					
Shaw and Mckee (2008)	X	X	X		X	X	X	X
Soldatini <i>et al.</i> (2010)			X				X	X
Allan, Baxter e Callaby (2016)							X	
Oliveira (2017)		X		X			X	X
CENIPA (2017)	X	X	X	X	X	X	X	X
Jeffery e Buschke (2018)							X	X
Oliveira (2018)	X			X				
Nimmagadda <i>et al.</i> (2020)	X	X	X		X	X	X	X
ANAC (2021b)			X				X	X
GHAZAOUI <i>et al.</i> (2022)								X

Fonte: Levantamento realizado pela autora (2023).

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

A revisão da literatura (científica e normativa) permitiu a seleção dos fatores comuns para aplicação no modelo de acidente. Isto posto, a etapa seguinte teve como foco o detalhamento e análise de cada fator selecionado, com vistas a elencar os estados de ocorrência de cada um, de modo a compreender o impacto que apresentam no modelo de acidente.

De posse dos fatores e definido os seus estados para o modelo de acidente de aeronaves por colisão com aves, o próximo passo consistiu no levantamento de dados para cada fator que possibilite indicar a probabilidade de uma colisão acontecer para cada um dos estados. Para tal, foram utilizados os dados de colisão com fauna no Brasil de 2011 a 2021, disponibilizados no Portal de Dados Abertos do Governo Federal Brasileiro pelo CENIPA.

3.2.1 Definição dos Estados de cada Fator do Modelo

3.2.1.1 Fase de voo

De acordo ao CENIPA (2021), as fases de voo onde ocorreram mais colisões com fauna (2011-2020), foram as fases de pouso, táxi e decolagem, que juntas representam 56,2% das colisões reportadas com danos. Ainda de acordo com Linnell, Conover e Ohashi (1996), em análise de um aeroporto tropical, constatou-se que as colisões com aves ocorreram com mais frequência durante os pousos do que nas decolagens. Na FC15, são coletados conforme Quadro 2.1, as fases voo: táxi; decolagem; subida; cruzeiro; descida; aproximação; pouso; revisão de pista; navegação a baixa altura – NBA; inspeção de trânsito/intervoo e estacionamento. Sendo assim, para o fator “fase de voo” foram definidos os estados descritos no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Estados do fator “Fase de Voo”.

Fator	Estados	Observações
Fase de voo	Pouso	Compreende as fases de aproximação para pouso, descida e pouso da FC15
	Decolagem	Compreende as fases de decolagem e subida da FC15

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.2 Altura AGL

A maioria das colisões ocorrem no ambiente imediato do aeroporto, com aproximadamente 74% das ocorrências abaixo de 500 pés acima do nível do solo, 19% de 501 a 3.500 pés e 7% acima de 3.500 pés (CLEARY; DOLBEER, 2005; DOLBEER, 2006).

Segundo Oliveira (2017) – vide Quadro 2.2 – recomenda-se analisar eventos com fauna que tenham ocorrido até 500 pés; de 501 a 1.500 pés; de 1.501 a 3.500 pés e acima de 3.500 pés de altura AGL. Assim sendo, para o fator “Altura AGL” foram definidos os estados descritos no Quadro 3.4.

Quadro 3.4. Estados do Fator “Altura AGL”.

Fator	Estados	Observações
Altura AGL	≤ 500 ft	Estados referentes a distância vertical, em pés (ft), em relação ao terreno no momento da colisão
	500 ft < a ≤ 3500 ft	
	> 3500 ft	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.3 Horário

Linnell, Conover e Ohashi (1999) ao analisarem o Aeroporto de Lihue (Havaí – Estados Unidos) considerou, com relação ao horário de ocorrência da colisão com ave, período do dia e noite. No Brasil, do total de colisões registradas entre os anos 2011-2020, aproximadamente 59,53% ocorreram entre o período do dia (CENIPA, 2021). Portanto, para o fator “horário” foram definidos os estados descritos no Quadro 3.5.

Quadro 3.5. Estados do Fator “Horário”.

Fator	Estados	Observações
Horário	Dia	Compreende colisões com aves ocorridas entre o período entre 06h00min e 17h59min
	Noite	Compreende colisões com aves ocorridas entre o período entre 18h00min e 05h59min

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.4 Velocidade da aeronave

Os estados para o fator “velocidade” foram definidos tomando por base a classificação sugeridas por Oliveira (2017) segundo citado no Quadro 2.2. Os estados definidos para este fator podem ser visualizados no Quadro 3.6.

Quadro 3.6. Estados do Fator “Velocidade”.

Fator	Estados	Observações
Velocidade	≤ 80 kt	Componente principal, em nós (kt), da energia de impacto no momento do evento reportado
	80 kt < V ≤ 200 kt	
	> 200 kt	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.5 Parte Atingida

Segundo Nicholson e Reed (2011) três quartos das colisões com aves envolvem a asa ou os motores das aeronaves, mas podem danificar quase qualquer parte de um avião. Em média, 44% das colisões atingem os motores, 31% as asas, 13% para-brisa, 8% nariz e 4% fuselagem das aeronaves (NICHOLSON; REED, 2011). No Brasil, as partes das aeronaves mais atingidas foram fuselagem e motor para os quinquênios 2011-2015 e 2016-2020, que correspondem a 44,3% e 42,6%, respectivamente (CENIPA, 2021). Na FC15, são coletados, conforme Quadro 2.1, as seguintes partes atingidas da aeronave: radome, para-brisa, nariz, motor, hélice, asa/rotor, fuselagem, trem de pouso e cauda. Assim sendo, para o fator “parte atingida” ficam definidas os estados segundo o Quadro 3.7.

Quadro 3.7. Estados para o fator “Parte Atingida”.

Fator	Estados	Observações
Parte atingida	Motor	Partes que efetivamente entraram em contato com a ave. O estado 'radome' aqui adotada, compreende as colisões ocorridas no radome e nariz da aeronave.
	Fuselagem	
	Para-brisa	
	Radome	
	Asa	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.6 Cobertura de Nuvens

Em alguns estudos da literatura observa-se a análise da cobertura de nuvens e/ou condições do céu no momento da colisão como um dos fatores do ambiente que contribuem para o evento (LINNELL; CONOVER; OHASHI, 1999, 1996; NIMMAGADDA *et al.*, 2020). Os estados para este fator foram definidos tomando por base na classificação FC15 pelo CENIPA (vide Quadro 2.1) e podem ser visualizadas no Quadro 3.8.

Quadro 3.8. Estados para o fator “Cobertura de Nuvens”.

Fator	Estados	Observações
Cobertura de Nuvens	Céu claro	Céu sem nuvens no momento da colisão
	Poucas nuvens	1 a 4/8 de cobertura de nuvens no momento da colisão
	Encoberto	5 a 8/8 de cobertura de nuvens no momento da colisão

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.7 Massa da Espécie

O fator ‘massa da espécie’ envolvida na colisão entre aeronaves e aves é frequente nos estudos da literatura (ALLAN, 2006; ALLAN; BAXTER; CALLABY, 2016; JEFFERY; BUSCHKE, 2018; LINNELL; CONOVER; OHASHI, 1999, 1996; SOLDATINI *et al.*, 2010).

Na metodologia de avaliação operacional de risco de fauna sugerida por Oliveira (2017), o autor divide este fator em duas partes, aves com massa individual até 1,125 kg e com massa individual superior a 1,125 kg. Já a FC15 coleta a informação de massa da espécie atingida em 5 faixas de massa corporal (CENIPA, 2017). Para este fator, propõe-se uma adaptação das 5 divisões da FC15 para 2, como pode ser visualizado no Quadro 3.9.

Quadro 3.9. Estados do fator “Massa da Espécie”.

Fator	Estados	Observações
Massa da espécie	≤ 1500 gr	Compreende as seguintes faixas da FC15: Muito pequeno (MP): < 50 gr Pequeno(P): 51 a 250gr Médio (M): 251 a 750gr Grande (G): 751 a 1500gr
	> 1500 gr	Compreende a seguinte faixa da FC15: Muito grande (MG): >1.500 gr

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.8 Comportamento da Espécie

Este fator se refere ao comportamento de voo das aves, se realizam voo em bando ou não, assim como citado por Soldatini *et al.* (2010). Os estados definidos para o modelo de acidente, como mostra o Quadro 3.10 foram tomadas por base do estudo de Linnell, Conover e Ohashi (1996). Destaca-se que, aqui foi realizado uma adaptação da quantidade de aves atingidas coletadas pela FC15.

Quadro 3.10. Estados para o fator “Comportamento da Espécie”.

Fator	Estados	Observações
Comportamento da espécie	1 ave	Compreende a opção de '1' ave atingida coletada pela FC15
	≥ 2 aves	Compreende as seguintes faixas de aves atingidas coletadas pela FC15: 2-10 aves 11-50 aves 51-100 aves mais de 100

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.1.9 Evento

Este fator se refere ao caso de ocorrer colisão ou não ocorrer colisão com ave. Os estados definidos para o modelo de acidente, são exibidos no Quadro 3.11.

Quadro 3.11. Estados para o fator “Evento”.

Fator	Estados	Observações
Evento	Ocorre	Razão entre o total de aeronaves que colidiram com aves pelo total de movimento de aeronaves comerciais no período.
	Não Ocorre	Razão entre o total do movimento de aeronaves comerciais, subtraído as que colidiram com aves, pelo total do movimento de aeronaves comerciais do período.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.2 Base de Dados - CENIPA

Selecionado os fatores e seus estados para compor o modelo – procedeu-se o levantamento e tratamento dos dados que foram utilizados para obtenção das probabilidades de ocorrência de colisão de cada fator/ estado. Este levantamento contribuiu para obter as probabilidades anteriores de cada fator que foram utilizadas para determinar as probabilidades posteriores da rede de confiabilidade bayesiana.

Os reportes dos eventos envolvendo fauna no Brasil são realizados por meio da Ficha CENIPA 15 online pelo Sistema de Gerenciamento de Risco Aviário – SIGRA. São informados os casos de colisões, quase colisões e avistamentos pelo operador do aeródromo, equipe de gestão da fauna, tripulação, controladores de tráfego aéreo e outros. A base com os dados dos reportes é disponibilizada no Portal de Dados Abertos do Governo Federal pelo CENIPA em arquivo de formato *csv*. Os dados publicados, até o presente momento, contemplam o período de 2011 a 2021.

Deste modo, a base de dados disponibiliza os reportes de ‘avistamento’, ‘quase colisão’ e ‘colisão’ com fauna no Brasil. A base conta com 75.006 linhas com dados, sendo cada linha correspondente a um evento reportado, diferenciados pelo código de reporte. Em acordo ao objetivo deste estudo, foram considerados somente os reportes de colisões.

Constam da base de dados um total de 23.001 reportes de colisões com fauna no Brasil entre os anos de 2011 e 2021 (os dados têm abrangência nacional). As variáveis que compõe esta base de dados estão todas descritas no Quadro 2.1 e são resultados do preenchimento da Ficha CENIPA 15. Destaca-se que todos os fatores selecionados para este estudo são variáveis

que compõe a base de dados. Na sequência são detalhados os passos do método aplicado para tratamento destes dados para atender o recorte de interesse neste estudo.

3.2.2.1 Primeira etapa do tratamento dos dados - CENIPA

As colisões reportadas por tipo de operador estão mais concentradas na aviação civil (seja geral e regular), em ambos os quinquênios, 2011-2015 e 2016-2020, com 56,86% e 48,40% dos registros realizados respectivamente (CENIPA, 2021). No ano de 2021, a aviação civil concentrou 79,09% dos reportes (CENIPA, 2022) e, dos 23.001 reportes de colisões no Brasil de 2011 a 2021, 72,29% são ocorrências relacionadas à aviação regular⁸.

Em função destas informações e, em consonância ao objetivo do trabalho, foram considerados da base de dados, os reportes de colisão das aeronaves comerciais com capacidade a partir de 30 passageiros e de carga. Com este escopo de análise, obtém-se dados mais homogêneos em relação ao modelo de operação das aeronaves. A aviação comercial apresenta especificidades de operação diferentes das operações com aeronaves de pequeno porte e militares.

Como critério de análise para seleção dos reportes que atendem ao escopo definido, foram utilizadas como parâmetro as variáveis da base de dados, na ordem de prioridade apresentada no Quadro 3.12. Os *websites* de consultas ao Registro Aeronáutico Brasileiro – RAB/ ANAC, *FlightRadar*, *FlightAware* e *Planespotters* foram utilizados como ferramentas auxiliares de análise. Estes critérios foram utilizados em razão das inconsistências encontradas nos dados.

Quadro 3.12. Variáveis critério para seleção dos reportes de colisão do escopo.

Prioridade de Análise	Variável da Base
1º	Aviação Tipo
2º	Modelo Aeronave
3º	Matrícula Aeronave
4º	Operador

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Neste primeiro tratamento, das 23.001 colisões com fauna, foram desconsiderados 6.176 registros por se tratar de aeronaves de pequeno porte, militares, não identificadas, entre outros. Sendo assim, a base consolidada após este passo conta com 16.825 colisões. A Tabela 3.1 apresenta um extrato das colisões que foram consideradas; e outras, que foram desconsideradas por tipo de aviação.

⁸ Tipo de aviação regular (RPT) - Aeronave utilizada para transporte comercial de passageiros (RBAC 121 e 129). Consultado em: <https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/sigra/perigoAviarioExt>

Tabela 3.1. Reportes de colisões considerados e desconsiderados na amostra por tipo de aviação.

Aviação tipo	Considerados	Desconsiderados
Células vazias	13	675
Desconhecido	27	2412
Geral	251	1537
Regular	16532	95
FAB	2	1350
Marinha	-	55
Exército	-	52
Total	16825	6176
Total Geral		23001

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os treze (13) reportes de colisões com tipo de aviação não informada (células vazias) que foram considerados, foram identificados pelos critérios de seleção se tratar de aeronaves comerciais – vide Quadro 3.12. Já para os demais 675, não foram informados o tipo de aviação, deixando este campo “vazio”. Ressalta-se que em 15 destes reportes, também não foram informados o modelo e a matrícula da aeronave. Em 658 reportes, informaram o modelo da aeronave como desconhecido e destes, 653 deixaram o campo da matrícula da aeronave em branco e dos 5 que informaram matrícula da aeronave, um se tratava de aeronave militar e quatro de pequeno porte. Assim sendo, estes 675 foram desconsiderados. A Tabela 3.2 sintetiza esta quantidade para aviação tipo não preenchida (células vazias) por modelo da aeronave.

Tabela 3.2. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘células vazias por modelo aeronave.

Modelo da Aeronave	Reportes desconsiderados
Vazia	15
0 Desconhecido (UNKNOWN)	658
AS 50/350/355/H50/HB350 Esquilo	1
F5EM/FM	1
Total Geral	675

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para o tipo de aviação informado como “Desconhecido”, 27 reportes foram considerados para a base final uma vez que foram identificados pelos demais critérios de seleção, se tratar das aeronaves do escopo de estudo. Já para os 2.412 reportes desconsiderados, não dispunham de informações suficientes para sua identificação. Ressalta-se que destes, foi desconsiderado um de colisão do modelo E190/195/VC2 e, uma vez que, este modelo possui capacidade para mais de 30 passageiros, procedeu-se checagem da matrícula e operador. A matrícula na consulta ao RAB-ANAC não foi encontrada e o operador informado foi a empresa EMBRAER®, o que levou a desconsiderar este para a amostra. A Tabela 3.3 sintetiza os reportes desconsiderados para aviação tipo “Desconhecido” por modelo da aeronave.

Tabela 3.3. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘desconhecido’ por modelo aeronave.

Modelo Aeronave	Reportes Desconsiderados
Vazia	5
-- Escolha uma opção --	2
0 Desconhecido (UNKNOWN)	2387
A 139	1
BE 90/9L/F/T/10/King Air	1
C 150/152/172/182/206/207/210	1
C 208/98 Caravan	4
C 500/525/550/560/56X	1
E/KC390	2
E120/C/VC97	1
E190/195/VC2	1
E550 Legacy 450/500	1
E810/820/821/PA31/34/U7 Seneca	1
LJ 31/R35/36/VU35	1
S/K 76	2
SR22/2002	1
Total Geral	2412

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para o tipo de aviação “Geral” foram considerados 251 reportes que se referiam a aeronaves comerciais de maior porte (dentro do escopo definido para análise). A Tabela 3.4 sintetiza os reportes desconsiderados para aviação tipo “Geral” por modelo da aeronave. Dos 1.537 reportes da aviação geral que foram desconsiderados, vale destacar as seguintes observações:

- Em 15 reportes não informaram modelo da aeronave, sendo que, destes, 10 não informaram matrícula e os outros 5 se tratava de aeronaves de pequeno porte;
- Em 444 reportes o modelo da aeronave foi informado como ‘desconhecido’. Destes, em 265 a matrícula da aeronave não foi informada. Os demais (179 reportes) informaram matrículas que foram verificadas uma a uma e, constatou-se que se tratava de aeronaves de pequeno porte ou matrículas não encontradas no registro ou *websites*;
- Em um (1) reporte de colisão informou modelo da aeronave como “A 310/318/319/320/321 Family”, porém pela matrícula se tratava de avião privado de pequeno porte;
- Em cinco (5) reportes de colisões foram informados o modelo “A 350 Família (Family A 350)” todavia, as matrículas indicaram se tratar de helicópteros da Polícia Militar;

- Em um (1) reporte foi informado modelo “B 737 Familia (Family Boeing 737)”, a matrícula não foi encontrada, porém o operador informado foi “Colt Taxi Aéreo”. Deste modo, este *outlier* foi desconsiderado da amostra;
- Oito (8) colisões em que foram informados o modelo “E190/195/VC2”, após análise das matrículas informadas, se tratava de registros não encontrados, aeronave experimental ou de instrução ou aeronaves de pequeno porte (ou seja, é possível que o modelo possa ter sido informado incorretamente durante o reporte).

Tabela 3.4. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘geral’ por modelo aeronave.

Modelo Aeronave	Reportes Desconsiderados
Vazia	15
-- Escolha uma opção --	2
0 Desconhecido (UNKNOWN)	444
269	2
A 109	21
A 139	15
A 310/318/319/320/321 Family	1
A 350 Familia (Family A 350)	5
A36TC	1
AB 11/115/180 Aeroboero	8
AC 90/690/840/900 Commander	2
AS 365/565 Pantera	1
AS 50/350/355/H50/HB350 Esquilo	9
AS 50/350/355/H50/HB350 Esquilo	53
B 206/406/BH6/IH6B/Jet Ranger	6
B 407	5
B 427/429	1
B 737 Familia (Family Boeing 737)	1
BD 700 Familia Global express (Family)	3
BE 20/30/350/Super King Air	34
BE 390	3
BE 40/400	7
BE 55/58	24
BE 90/9L/F/T/10/King Air	44
C 105/CN295	1
C 150/152/172/182/206/207/210	162
C 208/98 Caravan	73
C 25B	14
C 310	5
C 402	5
C 500/525/550/560/56X	62
C 600	2
C 650/680/750	15
CAP4/P56	2
DA20C1	5
E/KC390	1
E110/111/C/P/R/SC95	13
E120/C/VC97	7

Modelo Aeronave	Reportes Desconsiderados
E121 Xingu	3
E135/145/C/E/R/VC99	16
E170/175	3
E190/195/VC2	8
E201/202 Ipanema	2
E500/505 Phenom 100/300	55
E550 Legacy 450/500	3
E711/712/720/PA28/32	18
E810/820/821/PA31/34/U7 Seneca	49
EC20/35/120/135/635	17
EC225/332/532/Puma/Cougar/CH34	3
Falcon 10/20/2000/F2TH	2
Falcon 50/900/7X	3
Gulfstream 200	2
Gulfstream G500/550	3
Hawker 750/800/850/900	5
L 410/420/UVF E-20	2
LJ 31/R35/36/VU35	16
LJ 40/45	17
LJ 55/60	7
MU 2	9
P28	17
PA 22	1
PA 34	28
PA 42/PAY 3/4	3
PA 42/PAY 3/4 Cheyenne 1/2	9
PA 46	8
PA31 Navajo	14
PA-34	10
PC 12	12
R/H 22	11
R/H 44	9
R/H 66	3
RV-10	6
RV-7	1
S/H 92	13
S/K 76	33
SH 3/61 Seaking	1
SR22/2002	30
WW 24	3
xx Desconhecido	8
Total Geral	1537

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Dos reportes informados como tipo de aviação “Regular”, foram considerados 16.532 reportes de colisões que se referiam a aeronaves comerciais de maior porte (dentro do escopo definido para análise). A Tabela 3.5 sintetiza os reportes desconsiderados para aviação tipo “Geral” por modelo da aeronave. Dos 95 reportes da aviação regular que foram desconsiderados, vale destacar os seguintes pontos:

- Em cinco (5) reportes de colisões que não informaram o modelo da aeronave, segundo a matrícula, três (3) se tratava de aeronaves de pequeno porte, uma (1) de reserva de marca e um (1) registro não encontrado;
- Vinte e nove (29) reportes de colisões em que o modelo da aeronave foi marcado como “Desconhecido”, foram descartados após verificação das matrículas das aeronaves. Apesar de alguns destes registros informar operador como ‘LATAM’, ‘GOL – VARIG’, entre outros, as matrículas revelaram tratar de aeronaves de pequeno porte, também aeronaves com categoria de registro ‘privada serviços aéreos privados’, registros não encontrados (com operador desconhecido), entre outros;
- Um (1) registro em que o modelo da aeronave informado foi “A 310/318/319/320/321” de acordo a matrícula se trata de aeronave do Fabricante Cessna® de pequeno porte;
- Dois (2) reportes informaram modelo “B 737 Família”, porém matrícula indicou se tratar de aeronaves de pequeno porte (um NEIVA EMB-720D e o outro um NEIVA EMB-201A);
- Dois (2) reportes informaram modelo “E190/195/VC2”, porém matrícula indicou que se trata de aeronave de pequeno porte (um HELICOPTER AW189 e o outro um EMB-820C NAVAJO).

Tabela 3.5. Reportes desconsiderados para tipo de aviação ‘regular’ por modelo aeronave.

Modelo Aeronave	Reportes Desconsiderados
Vazia	5
0 Desconhecido (UNKNOWN)	29
A 139	1
A 310/318/319/320/321	1
AB 11/115/180 Aeroboero	1
AS 50/350/355/H50/HB350 Esquilo	1
B 737 Família	2
BE 65/80	1
BE 90/9L/F/T/10/King Air	1
C 150/152/172/182/206/207/210	1
C 208/98 Caravan	18
C 25B	1
C 500/525/550/560/56X	5
E110/111/C/P/R/SC95	1
E120/C/VC97	9
E190/195/VC2	2
E312/314/A29/T27	1
E711/712/720/PA28/32	1
E810/820/821/PA31/34/U7 Seneca	2

Modelo Aeronave	Reportes Desconsiderados
L 410/420/UDP E-20	4
PA 42/PAY 3/4	1
PA 42/PAY 3/4 Cheyenne 1/2	1
PA31 Navajo	2
PC 12	1
S/K 76	2
SR22/2002	1
Total Geral	95

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Por fim, salienta-se que foram desconsiderados os 52 reportes de colisões da base de dados informados para o tipo de aviação “Exército”, e os 55 reportes informados para o tipo de aviação “Marinha”. Foram considerados 2 reportes do tipo de aviação “FAB” pois as matrículas indicaram se tratar de aeronaves comerciais de grande porte, os demais reportes (1.350) foram desconsiderados para este tipo de aviação por se tratar de aviação militar e não comporem o espoco de análise do estudo.

3.2.2.2 Segunda etapa do tratamento dos dados – CENIPA

Após primeiro tratamento da base de dados, com seleção das colisões que envolveram aeronaves comerciais (mais que 30 passageiros e de carga), 16.825 reportes passaram para a segunda etapa de tratamento dos dados. Nesta etapa, o objetivo foi identificar as colisões que envolveram aves. As informações das espécies (tamanho, nome, quantidade atingida) envolvidas, são disponibilizados em base de dados separada no Portal de Dados Abertos. As duas bases, de ‘Reportes Risco Fauna 2011 a 2021’ e ‘Espécies do Risco de Fauna de 2011 a 2021’, apresentam em comum o código do reporte. Logo, foi possível unificar⁹ as informações em base de dados única.

Destaca-se que na base de dados de espécies, o código do reporte, quando se repete, indica que houve mais de uma espécie envolvida no evento. Assim, das 16.825 colisões desta etapa, foram identificadas as que envolveram mais de uma espécie e os dados relativos a segunda espécie envolvida foram também considerados na análise.

A Figura 3.2 apresenta detalhamento da análise das espécies envolvidas realizada nesta etapa. Dos 16.825 reportes de colisões, 6.626 envolveram aves, 566 envolveram outras espécies¹⁰ e 9.633 não identificaram a espécie. Dos 566 reportes que envolveram outras

⁹ As duas bases foram unificadas com auxílio da função *procv* no Excel® a partir do código de reporte comum.

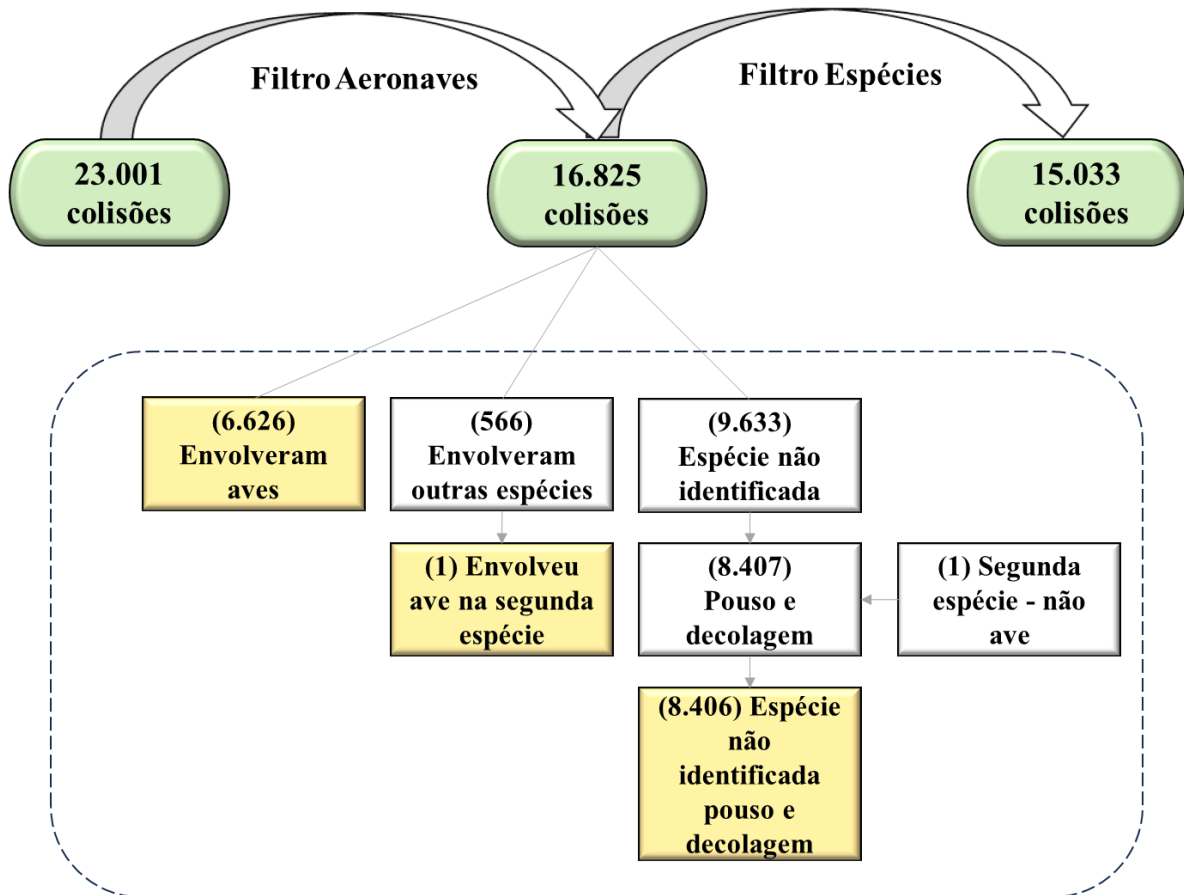
¹⁰ A base contém dados referentes à colisão, quase colisão e avistamentos de aeronaves com a fauna. Além das aves, são informados eventos com ‘outras espécies’, que podem ser: anfíbios, mamíferos, répteis, morcegos, aves não voadoras e outros.

espécies, em um (1) reporte foi informado ave como segunda espécie envolvida. Deste modo, uma vez que o objetivo do estudo envolve colisões com aves, foram desconsiderados 565 reportes que envolveram outras espécies da fauna e/ ou aves não voadoras.

Dos reportes que não identificaram espécie envolvida, adotou-se como estratégia, considerar destes, àqueles reportes que ocorreram nas fases de voo consideradas na pesquisa (aproximação, descida, pouso, decolagem e subida). Deste modo, 8.407 reportes dos 9.633 ocorreram nas fases citadas, porém um (1) dos 8.407 reportes, envolveu outra espécie que não ave, o que levou a considerar dos 9.633 para a base final um total de 8.406 reportes de colisão.

Finalmente, chegou-se ao valor total de 15.033 reportes de colisões após análise das espécies envolvidas. Destes 6.626 envolveram aves; um (1) envolveu ave como segunda espécie e 8.406 com espécie não identifica para as fases de voo consideradas neste estudo.

Figura 3.2. Detalhamento filtro das espécies envolvidas na colisão.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

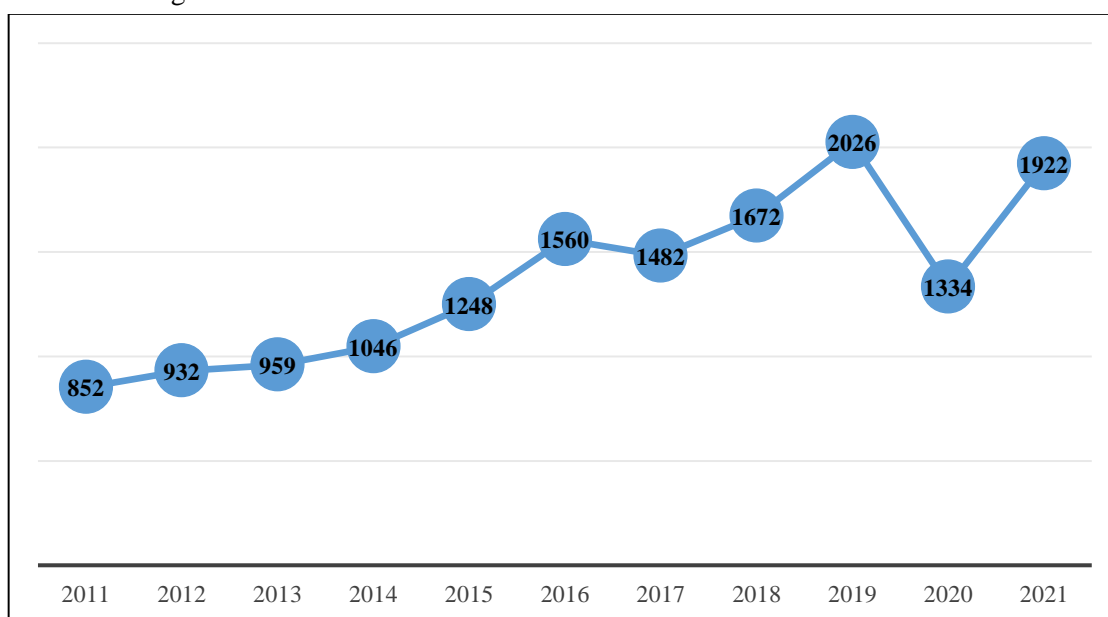
Registra-se que os reportes de colisões que envolveram a espécie de fauna “morcego”, não foram considerados para a base final de dados. Das 16.825 colisões que envolveram aeronaves comerciais, entre os anos de 2011 e 2021, em 135 foram informados morcegos como

espécie envolvida, representando 0,8% da amostra. Uma vez que, os morcegos apresentam comportamento de voo peculiar e diferente das aves e, a representatividade é relativamente pequena na amostra, optou-se por desconsiderar estes dados.

3.2.2.3 Análise descritiva dos dados

A Figura 3.3 exibe a distribuição das 15.033 colisões com aves, consideradas neste estudo como descrito na seção anterior, do ano de 2011 a 2021. Como já destacado, a queda no número de colisões observada no ano de 2020, deve-se as restrições impostas durante a pandemia de COVID-19.

Figura 3.3. Colisões entre aves e aeronaves comerciais de 2011 a 2021.

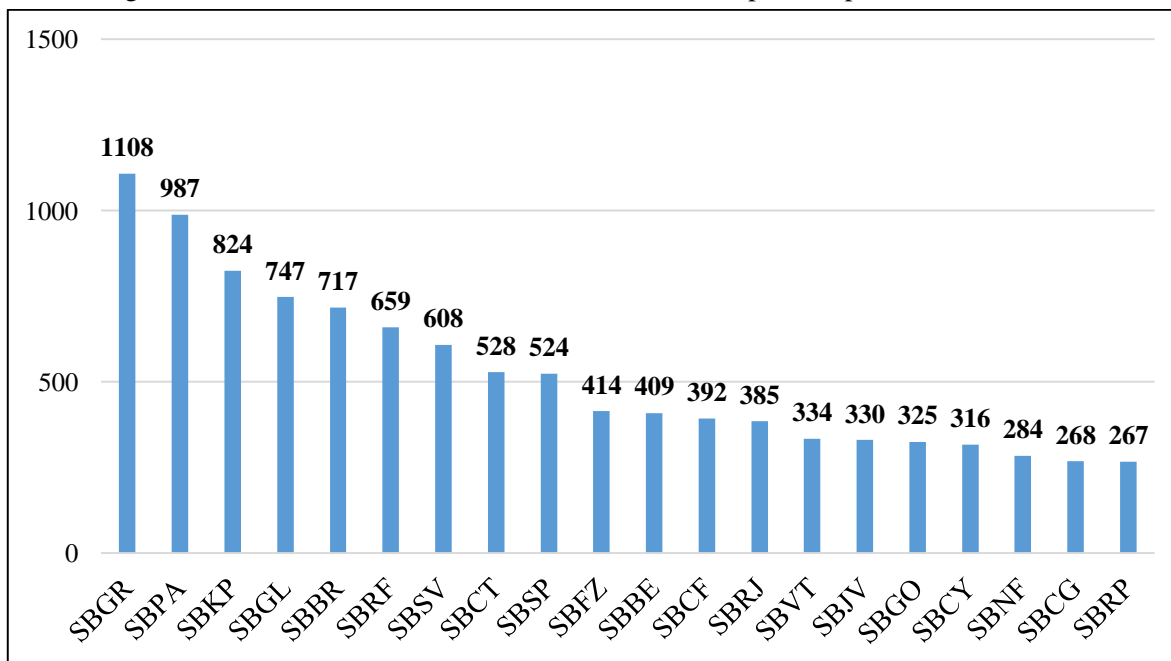


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Já a Figura 3.4 exibe um extrato das 15.033 colisões entre aves e aeronaves comerciais de 2011 a 2021 distribuídas por aeroporto informado no reportes. Das 15.033 colisões entre aves e aeronaves comerciais consideradas no estudo, 69,35% estão concentradas em 20 aeródromos do país como visualizado na Figura 3.4. Nos reportes é informado o código ICAO que identifica o aeródromo mais próximo no momento da colisão.

O Aeroporto de Guarulhos – SP, Porto Alegre – RS, Viracopos – SP, Galeão – RJ e o de Brasília – DF ocupam as cinco primeiras colocações com maiores quantidades de colisões informadas entre os anos de 2011 e 2021. Destaca-se ainda que 98,88% das 15.033 colisões ocorreram dentro da Área de Segurança Aeroportuária (ASA) e 12,5% informaram danos e/ou prejuízos decorrentes.

Figura 3.4. Colisões entre aves e aeronaves comerciais por aeroporto – 2011 a 2021.



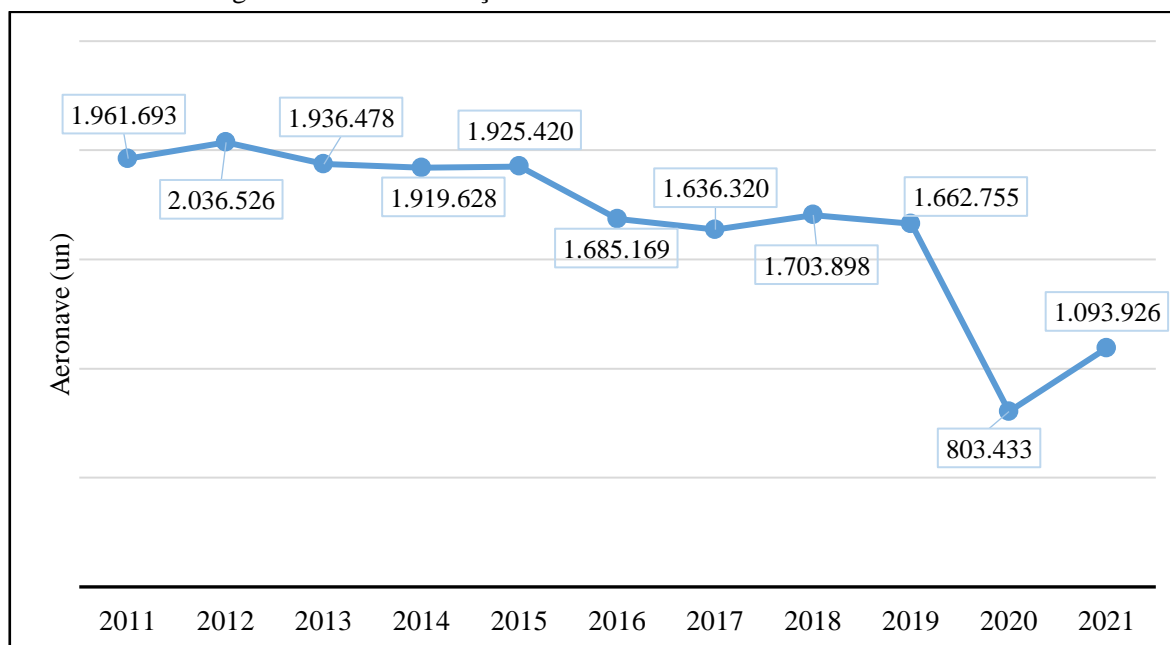
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2.3 Dados de Movimentação de Aeronaves

Os dados levantados e tratados como descritos na seção anterior referentes as colisões com aves no Brasil referem-se aos casos favoráveis. Para compor a análise dos casos favoráveis (colisões) dentro do universo dos casos possíveis (movimentos de aeronaves), buscou-se dado referente à movimentação de aeronaves no Brasil para o período de 2011 a 2021.

Os dados considerados são advindos do sistema Hórus da Secretaria Nacional de Aviação Civil – SAC, que apresenta informações sobre a aviação civil brasileira dos aeródromos do País. Aqui serão considerados os dados referentes a evolução anual da movimentação de aeronave, via voos domésticos e internacionais, embarque e desembarque, de voos regulares dos aeródromos das capitais e regionais no período de 2011 a 2021. Dentro deste recorte, segundo o portal, ocorreram no Brasil para o período, um total de 18.365.246 movimentos de aeronaves. Os dados foram consultados no *website* no mês de agosto do ano de 2023 e são exibidos por ano considerado na Figura 3.5.

Figura 3.5. Movimentação de aeronaves no Brasil de 2011 a 2021.



Fonte: Hórus – LabTrans/SAC (2023). Adaptado pela autora.

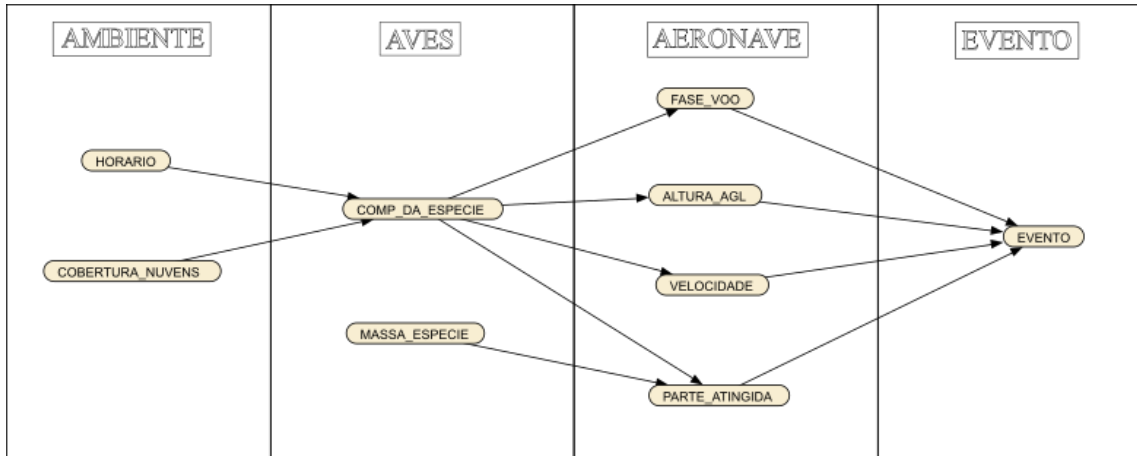
3.3 MODELO DE ACIDENTE POR COLISÃO COM AVES

Definidos os fatores e seus estados, como descrito nas seções anteriores, foi realizado a construção do grafo para compor a rede bayesiana do modelo. É importante salientar que os fatores contribuintes selecionados da literatura, serão os nós da rede e os estados para cada fator definidos, os estados de cada nó.

Com base no levantamento dos fatores destacados pela investigação da literatura, relatórios de acidentes e dos reportes, detalhados até o presente momento, foram definidos quatro categorias pelos quais estes se relacionam de forma direta e indireta: ambiente, aves, aeronave e evento.

O ambiente é a categoria que delimita fatores do ambiente externo, neste caso: horário e cobertura de nuvens. Aves é a categoria que delimita a fauna aviária, representada pelos fatores: massa da espécie e comportamento da espécie. Apesar de se encontrarem no ambiente, os fatores ambientais influenciam diretamente as condições de presença e comportamento de aves, como foi apresentado na literatura, assim a relação de influência de ambiente e aves é direta. Por fim, a categoria aeronaves delimita condições específicas de operações de aeronaves que se destacaram na literatura e estão representados pelos fatores: fase de voo, altura AGL, velocidade e partes atingidas da aeronave. Como as aves têm uma relação direta com a aeronave durante a operação e possibilitando uma colisão, e também indireta com o ambiente, o sentido dos arcos e a disposição dos nós dentro da rede estão apresentadas na Figura 3.6.

Figura 3.6. Grafo – Rede bayesiana representada por categorias e seus respectivos fatores.

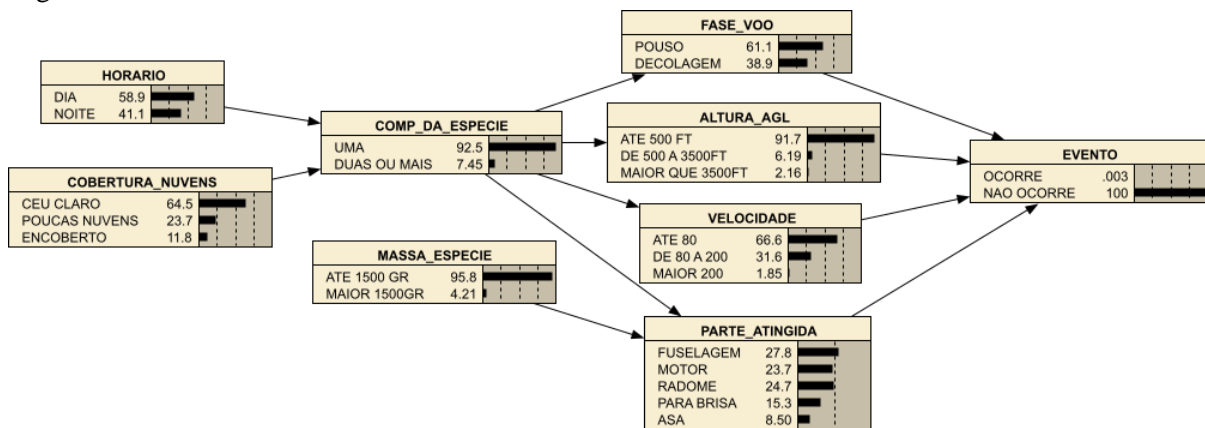


Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A definição dos arcos ou links entre os nós foi direcional indicando o sentido de causalidade da rede, partindo dos fatores da categoria ‘ambiente’ à categoria ‘evento’. Os links foram determinados em acordo aos fatores (nós) que apresentam interação direta. Deste modo, da esquerda à direita da rede ou ainda, do ‘ambiente’ ao ‘evento’, pode-se observar a sequência estabelecida de influência entre os nós.

A Figura 3.7 expõe a rede – com a representação dos nós e seus estados – criados no *software* Netica®. São apresentadas as probabilidades dos nós – calculadas segundo as probabilidades a priori – se tratando, do cenário sem evidência, ou seja, o cenário base.

Figura 3.7. BBN – Cenário sem evidência: nós e estados do modelo de colisão de aeronave com aves.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Construída a rede, foram gerados as Tabelas de Probabilidade Condicionais – TPC com todas as combinações possíveis de estados para cada nó. Nelas foram inseridos os valores das probabilidades reais para cada combinação de estados com base nos dados do CENIPA referentes às colisões de aeronaves com aves, consolidada após tratamentos anteriormente descritos (vide TPCs completas no Apêndice A).

4 RESULTADOS

Este capítulo apresenta o resultado da aplicação do método de Redes Bayesianas e das simulações computacionais para o cálculo das probabilidades condicionais. Com a construção das RB, tornou-se possível obter-se inferências dos nós considerados no modelo de acidentes. Esta etapa teve por intuito obter o impacto global dos fatores das colisões entre aeronaves e aves e o impacto dos estados em um cenário com evidência da colisão comparativamente a um cenário sem esta evidência.

A rede bayesiana construída possui 9 nós distintos onde, 2 são fatores ligados ao ambiente, 2 ligados às aves, 4 ligados as aeronaves e 1 ligado a ocorrência do evento – colisão. Primeiramente foram verificadas as probabilidades dos estados dos nós em relação ao cenário sem evidência e com evidência do evento colisão (OCORRE ou NÃO OCORRE, respectivamente). Em seguida, foram avaliadas as probabilidades em outros 15 cenários, cada um simulando a evidência de um estado dos nós ‘Altura AGL’, ‘Fase de voo’, ‘Velocidade’, ‘Parte Atingida’ e ‘Massa da Espécie’. Os estados foram ranqueados por cenário segundo o resultado, de maior para menor probabilidade, conseqüentemente, os de interesse são os que apresentaram maior impacto em um evento que ocorre a colisão.

Para obtenção dos resultados, foi utilizada a ferramenta computacional¹¹ Netica®, uma vez que a rede não conta com grande número de nós, a versão gratuita atendeu os requisitos.

Os resultados são apresentados em sete seções:

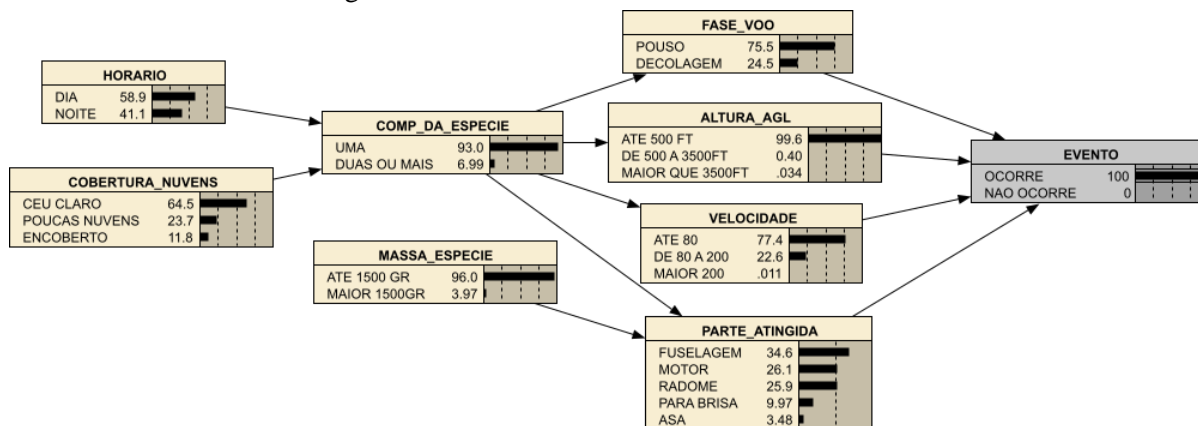
- i) cenários sem evidência e com evidência da colisão (OCORRE e NÃO OCORRE);
- ii) cenários sem evidência de colisão e com evidência nos estados do nó ‘Fase de Voo’;
- iii) cenários sem evidência de colisão e com evidência nos estados do nó ‘Altura AGL’;
- iv) cenários sem evidência de colisão e com evidência nos estados do nó ‘Velocidade’;
- v) cenários sem evidência de colisão e com evidência nos estados do nó ‘Parte Atingida’;
- vi) cenários sem evidência de colisão e com evidência nos estados do nó ‘Massa da Espécie’; e
- vii) comparativo geral dos impactos das simulações e observações dos resultados.

¹¹ *Software* desenvolvido pela empresa Norsys *Software* e refere-se a ferramenta com foco no desenvolvimento e análise de redes bayesianas.

4.1 CENÁRIO DO EVENTO COLISÃO

A BBN com evidência de que ‘ocorreu’ colisão com ave é apresentada na Figura 4.1, este resultado mostra as probabilidades de cada um dos estados dos fatores, dado que houve o evento. A BBN sem evidência da ocorrência da colisão foi apresentada na Figura 3.7.

Figura 4.1. BBN – Cenário básico com evidência



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Na Tabela 4.1 estão representadas todas as probabilidades dos estados de cada nó para os cenários sem e com evidência (EVENTO – OCORRE). O impacto de cada estado, mostra o aumento ou a diminuição da probabilidade de ocorrer, medido pela razão entre o cenário com a evidência e o sem evidência. Os estados estão ranqueados do maior ao menor impacto entre cenários.

Tabela 4.1. Probabilidades – Modelo de Acidente de Colisão de Aeronaves com Aves.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	3,46E-01	2,78E-01	124,41%	24,41%	1º
Fase de voo	Pouso	7,55E-01	6,11E-01	123,71%	23,71%	2º
Velocidade	Até 80kt	7,74E-01	6,66E-01	116,27%	16,27%	3º
Parte Atingida	Motor	2,61E-01	2,37E-01	110,01%	10,01%	4º
Altura AGL	Até 500ft	9,96E-01	9,17E-01	108,63%	8,63%	5º
Parte Atingida	Radome	2,59E-01	2,47E-01	104,74%	4,74%	6º
Comportamento da Espécie	Uma	9,30E-01	9,25E-01	100,50%	0,50%	7º
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,60E-01	9,58E-01	100,26%	0,26%	8º
Horário	Noite	4,11E-01	4,11E-01	100,13%	0,13%	9º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,45E-01	6,45E-01	100,05%	0,05%	10º
Horário	Dia	5,89E-01	5,89E-01	99,91%	-0,09%	11º
Cobertura de	Poucas	2,37E-01	2,37E-01	99,90%	-0,10%	12º

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Nuvens	Nuvens					
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,90%	-0,10%	13°
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,97E-02	4,21E-02	94,15%	-5,85%	14°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,99E-02	7,45E-02	93,75%	-6,25%	15°
Velocidade	80 a 200kt	2,26E-01	3,16E-01	71,56%	-28,44%	16°
Parte Atingida	Para-brisa	9,97E-02	1,53E-01	65,24%	-34,76%	17°
Fase de voo	Decolagem	2,45E-01	3,89E-01	62,82%	-37,18%	18°
Parte Atingida	Asa	3,48E-02	8,50E-02	40,96%	-59,04%	19°
Altura AGL	500 a 3500ft	4,04E-03	6,19E-02	6,53%	-93,47%	20°
Altura AGL	Maior 3500ft	3,36E-04	2,16E-02	1,56%	-98,44%	21°
Velocidade	Maior 200kt	1,06E-04	1,85E-02	0,57%	-99,43%	22°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Conforme apresentado, os dez primeiros estados do *ranking* da Tabela 4.1 apresentam aumento na probabilidade com a evidência da colisão com ave, em ordem de importância, tem-se: (1°) fuselagem atingida na colisão; (2°) colisão na fase de pouso; (3°) colisão até 80 nós de velocidade; (4°) motor atingido na colisão; (5°) colisão até 500 pés de altura; (6°) radome atingido na colisão; (7°) Uma ave atingida; (8°) Ave de até 1.500 gramas atingida; (9°) Colisão durante a noite e (10°) Colisão em condições de céu claro.

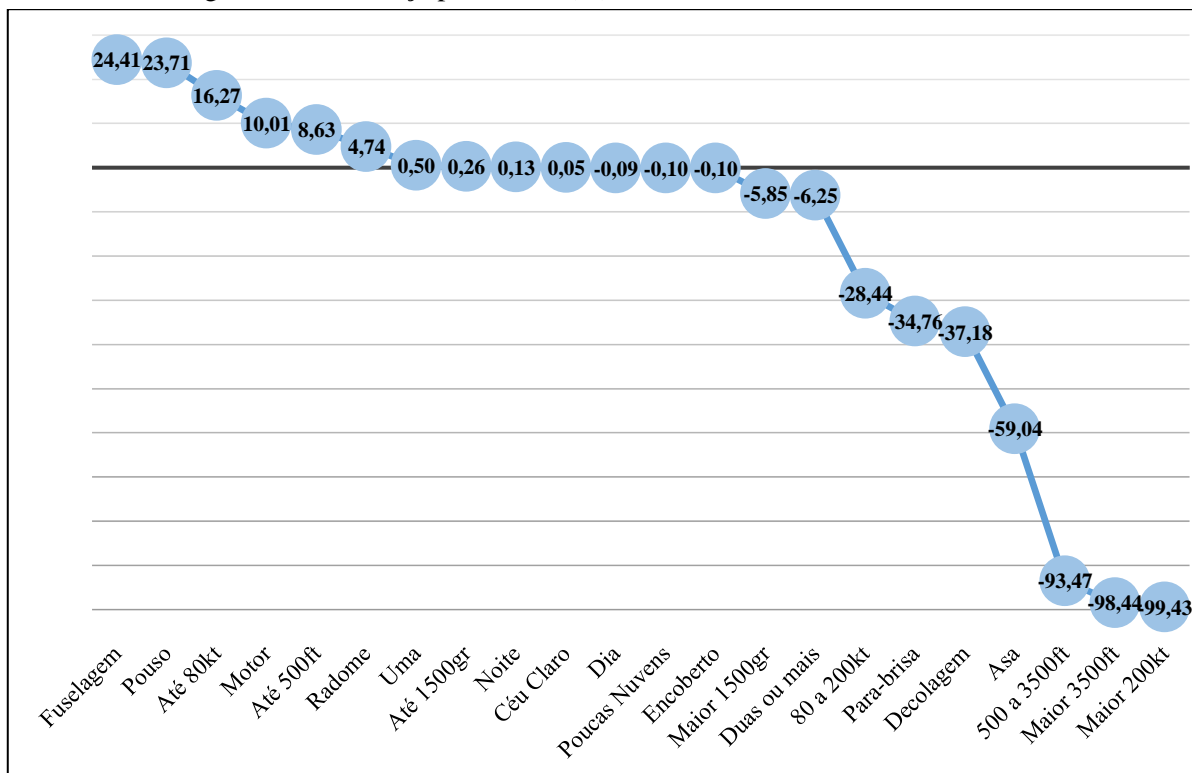
Este resultado demonstra que, quando há a evidência da colisão com ave, estes estados exercem maior impacto no modelo, ou seja, tem maior probabilidade de ocorrer, dado que a colisão ocorreu. Por exemplo, o estado 'fuselagem' do nó 'Parte atingida' diz que a fuselagem da aeronave tem 124,41% de ser a parte atingida em uma colisão com aves. Para os demais estados, observa-se que o impacto diminui (representado pelo sinal negativo).

Os estados com impacto positivo indicam que estes, são os fatores de maior risco no Brasil quando se considera um cenário com a evidência da colisão. Logo, o cenário com maior sensibilidade para que o evento ocorra, envolve: a fase de pouso, aeronave com até 500 pés de altura e 80 nós de velocidade, envolvendo uma ave de até 1.500 gramas, durante a noite com céu claro (sem nuvens), com maior possibilidade de atingir fuselagem, motor ou radome.

Pode-se afirmar ainda que, os estados que apresentam impacto negativo, quando da evidência de colisão, apresentam menor probabilidade de ocorrer. Este fato, leva à compreensão de que, para as condições simuladas, os fatores e seus respectivos estados com maior impacto podem contribuir com o gerenciamento de segurança operacional de aeroportos no cenário de acidentalidade brasileiro.

Como análise comparativa, a Figura 4.2 apresenta a diferença percentual do cenário com evidência e sem evidências no evento do modelo de acidente. Pode-se observar os estados dos nós em relação ao aumento (valores positivos) ou declínio (valores negativos) do impacto.

Figura 4.2. Diferença percentual (%) entre cenário com e sem evidência.



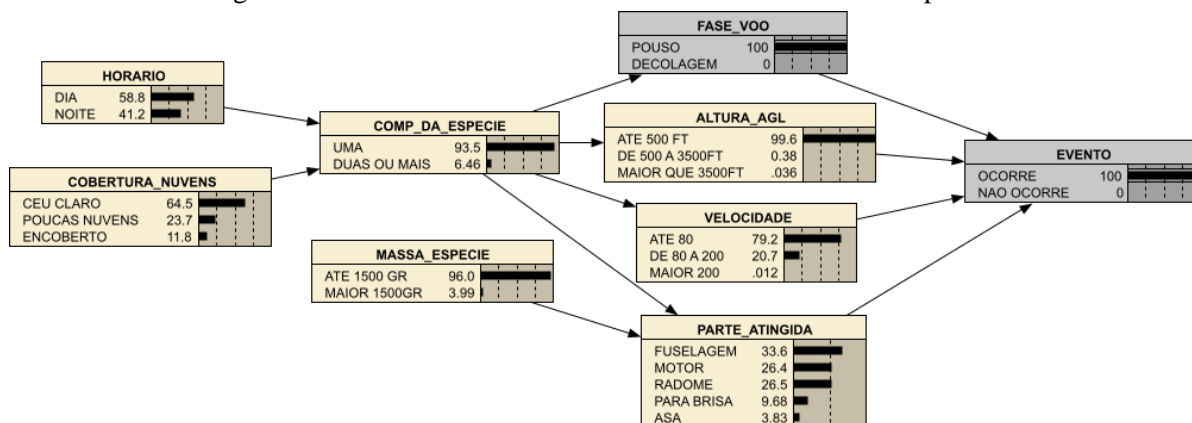
Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A partir dos resultados, foram identificados os fatores críticos no Brasil envolvendo as colisões entre aves e aeronaves comerciais: a fuselagem, como parte atingida mais crítica (1°), durante fase de pouso (2°), com velocidade até 80 nós (3°), o motor, como segunda parte atingida mais crítica (4°), até 500 pés (5°), o radome, como terceira parte atingida mais crítica (6°), envolve apenas uma ave (7°), massa de até 1.500 gramas (8°), durante a noite (9°) com céu claro (10°).

4.2 CENÁRIOS PARA O NÓ FASE DE VOO

A primeira simulação realizada considerou que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e com evidência na fase de pouso. Este cenário pode ser visualizado na Figura 4.3.

Figura 4.3. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre no pouso.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Na Tabela 4.2 são apresentadas as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão na fase de pouso. Em 9 estados foi notado um aumento da probabilidade. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: fuselagem (120,92%), até 80 nós (119,07%), motor (111,26%), até 500 pés (108,65%), radome (107,25%), uma ave (101,07%), noite (100,28%), até 1.500 gramas (100,23%) e céu claro (100,12%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 10ª à 20ª posição do ranking apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.2. Probabilidades cenário sem e com evidência no pouso.

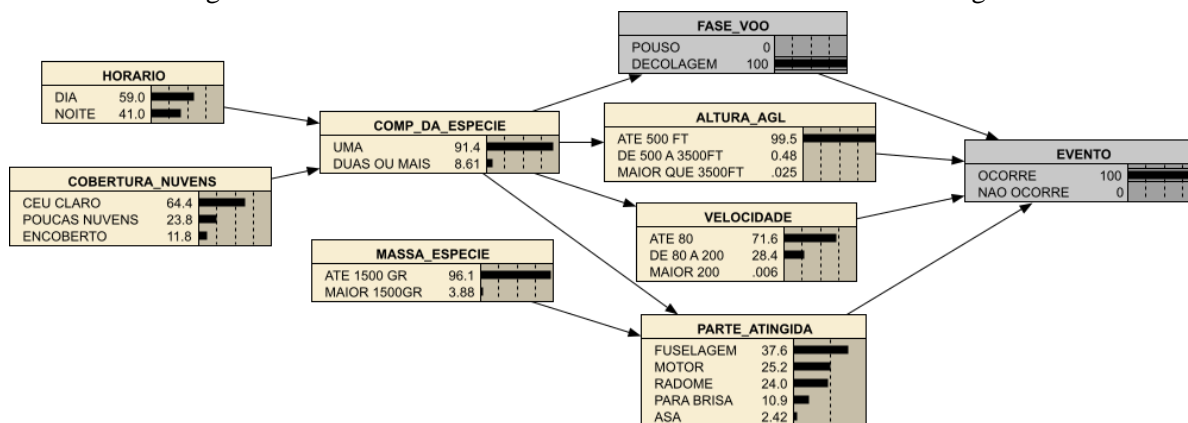
Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Fase de voo	Pouso	1	6,11E-01	-	-	-
Fase de voo	Decolagem	0	3,89E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	3,36E-01	2,78E-01	120,92%	20,92%	1º
Velocidade	Até 80kt	7,92E-01	6,66E-01	119,07%	19,07%	2º
Parte Atingida	Motor	2,64E-01	2,37E-01	111,26%	11,26%	3º
Altura AGL	Até 500ft	9,96E-01	9,17E-01	108,65%	8,65%	4º
Parte Atingida	Radome	2,65E-01	2,47E-01	107,25%	7,25%	5º
Comportamento da Espécie	Uma	9,35E-01	9,25E-01	101,07%	1,07%	6º
Horário	Noite	4,12E-01	4,11E-01	100,28%	0,28%	7º
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,60E-01	9,58E-01	100,23%	0,23%	8º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,45E-01	6,45E-01	100,12%	0,12%	9º
Horário	Dia	5,88E-01	5,89E-01	99,80%	-0,20%	10º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,79%	-0,21%	11º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,79%	-0,21%	12º

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,99E-02	4,21E-02	94,77%	-5,23%	13°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,46E-02	7,45E-02	86,70%	-13,30%	14°
Velocidade	80 a 200kt	2,07E-01	3,16E-01	65,65%	-34,35%	15°
Parte Atingida	Para-brisa	9,68E-02	1,53E-01	63,35%	-36,65%	16°
Parte Atingida	Asa	3,83E-02	8,50E-02	44,99%	-55,01%	17°
Altura AGL	500 a 3500ft	3,79E-03	6,19E-02	6,13%	-93,87%	18°
Altura AGL	Maior 3500ft	3,64E-04	2,16E-02	1,69%	-98,31%	19°
Velocidade	Maior 200kt	1,20E-04	1,85E-02	0,65%	-99,35%	20°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A segunda simulação realizada considerou que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e na fase de decolagem. Este cenário pode ser visualizado na Figura 4.4.

Figura 4.4. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre na decolagem.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.3 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com evidência no evento e na fase de decolagem e sem evidência. Novamente, 9 estados apresentam aumento da probabilidade, sendo os que apresentaram maiores impactos: fuselagem (135,19%), duas ou mais aves (115,52%), até 500 pés (108,56%), até 80 nós (107,62%), motor (106,15%), até 1.500 gramas (100,34%), poucas nuvens (100,25%), encoberto (100,24%) e dia (100,23%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 10ª à 20ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.3. Probabilidades cenário com e sem evidência na decolagem.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Fase de voo	Pouso	0	6,11E-01	-	-	-
Fase de voo	Decolagem	1	3,89E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	3,76E-01	2,78E-01	135,19%	35,19%	1°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	8,61E-02	7,45E-02	115,52%	15,52%	2°
Altura AGL	Até 500ft	9,95E-01	9,17E-01	108,56%	8,56%	3°
Velocidade	Até 80kt	7,16E-01	6,66E-01	107,62%	7,62%	4°
Parte Atingida	Motor	2,52E-01	2,37E-01	106,15%	6,15%	5°
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,61E-01	9,58E-01	100,34%	0,34%	6°
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,38E-01	2,37E-01	100,25%	0,25%	7°
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	100,24%	0,24%	8°
Horário	Dia	5,90E-01	5,89E-01	100,23%	0,23%	9°
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,44E-01	6,45E-01	99,86%	-0,14%	10°
Horário	Noite	4,10E-01	4,11E-01	99,67%	-0,33%	11°
Comportamento da Espécie	Uma	9,14E-01	9,25E-01	98,75%	-1,25%	12°
Parte Atingida	Radome	2,40E-01	2,47E-01	96,99%	-3,01%	13°
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,88E-02	4,21E-02	92,23%	-7,77%	14°
Velocidade	80 a 200kt	2,84E-01	3,16E-01	89,80%	-10,20%	15°
Parte Atingida	Para-brisa	1,09E-01	1,53E-01	71,10%	-28,90%	16°
Parte Atingida	Asa	2,42E-02	8,50E-02	28,48%	-71,52%	17°
Altura AGL	500 a 3500ft	4,80E-03	6,19E-02	7,76%	-92,24%	18°
Altura AGL	Maior 3500ft	2,51E-04	2,16E-02	1,16%	-98,84%	19°
Velocidade	Maior 200kt	6,42E-05	1,85E-02	0,35%	-99,65%	20°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Em síntese, a Tabela 4.4 exibe os estados com maiores impactos em ambas as simulações, com evidência no evento e evidência em ambas fases de voo (pouso e decolagem). Destaca-se que 5 estados apresentaram impacto nas duas simulações variando posições no *ranking*, todavia, o estado ‘fuselagem’ mantêm-se como primeiro em ambas, com impacto maior no cenário com evidência no evento e com evidência na decolagem (35,19%). Os estados marcados em azul, apresentam aumento da probabilidade somente em um dos cenários simulados para o nó fase de voo.

Tabela 4.4. Comparação do impacto dos estados – com evidência no pouso e decolagem.

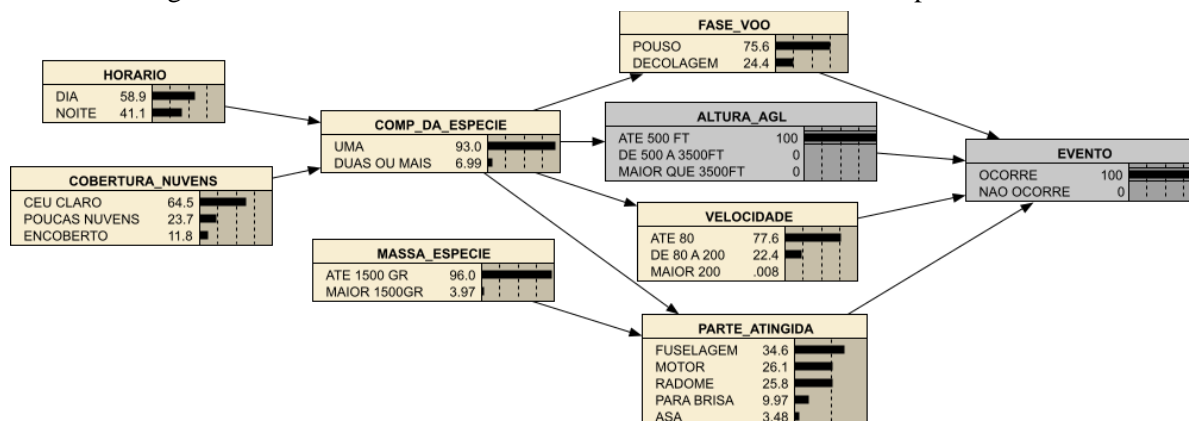
Ranking	Evidência: Pouso		Evidência: Decolagem	
	Estados	Impacto	Estados	Impacto
1º	Fuselagem	20,92%	Fuselagem	35,19%
2º	Até 80kt	19,07%	Duas ou mais	15,52%
3º	Motor	11,26%	Até 500ft	8,56%
4º	Até 500ft	8,65%	Até 80kt	7,62%
5º	Radome	7,25%	Motor	6,15%
6º	Uma	1,07%	Até 1500gr	0,34%
7º	Noite	0,28%	Poucas Nuvens	0,25%
8º	Até 1500gr	0,23%	Encoberto	0,24%
9º	Céu Claro	0,12%	Dia	0,23%

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

4.3 CENÁRIOS PARA O NÓ ALTURA AGL

Foi simulada evidência considerando que ocorre a colisão e também ocorre na altura de até 500 pés. A BBN para este cenário pode ser visualizada na Figura 4.5.

Figura 4.5. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre até 500 pés de altura.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.5 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão até 500 pés. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: fuselagem (124,46%), pouso (123,73%), até 80 nós (116,60%), motor (110,14%), radome (104,59%), uma ave (100,50%), até 1.500 gramas (100,26%), noite (100,13%) e céu claro, (100,05%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 10ª à 19ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.5. Probabilidades cenário sem e com evidência até 500 pés de altura.

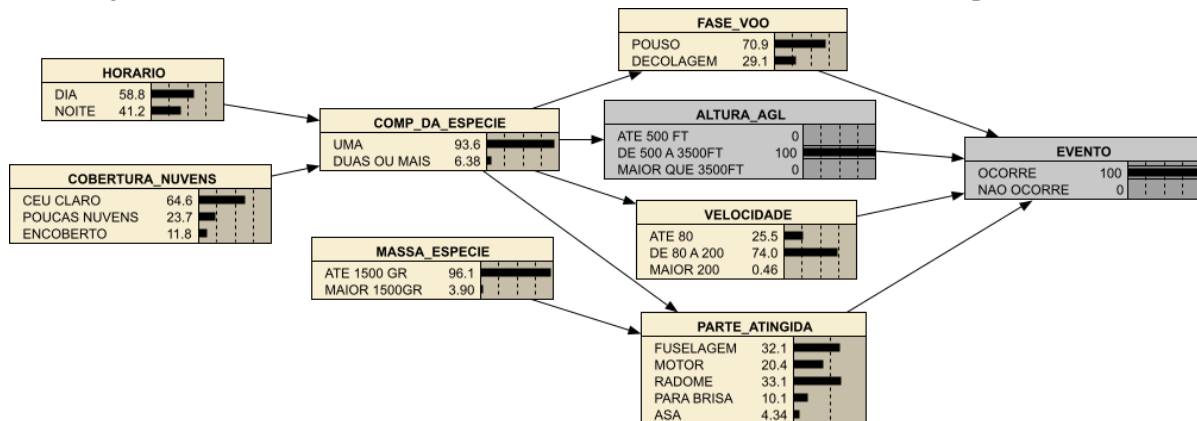
Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Altura AGL	Até 500ft	1	9,17E-01	-	-	-
Altura AGL	500 a 3500ft	0	6,19E-02	-	-	-
Altura AGL	Maior 3500ft	0	2,16E-02	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	3,46E-01	2,78E-01	124,46%	24,46%	1°
Fase de voo	Pouso	7,56E-01	6,11E-01	123,73%	23,73%	2°
Velocidade	Até 80kt	7,76E-01	6,66E-01	116,60%	16,60%	3°
Parte Atingida	Motor	2,61E-01	2,37E-01	110,14%	10,14%	4°
Parte Atingida	Radome	2,58E-01	2,47E-01	104,59%	4,59%	5°
Comportamento da Espécie	Uma	9,30E-01	9,25E-01	100,50%	0,50%	6°
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,60E-01	9,58E-01	100,26%	0,26%	7°
Horário	Noite	4,11E-01	4,11E-01	100,13%	0,13%	8°
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,45E-01	6,45E-01	100,05%	0,05%	9°
Horário	Dia	5,89E-01	5,89E-01	99,91%	-0,09%	10°
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,90%	-0,10%	11°
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,90%	-0,10%	12°
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,97E-02	4,21E-02	94,16%	-5,84%	13°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,99E-02	7,45E-02	93,79%	-6,21%	14°
Velocidade	80 a 200kt	2,24E-01	3,16E-01	70,87%	-29,13%	15°
Parte Atingida	Para-brisa	9,97E-02	1,53E-01	65,21%	-34,79%	16°
Fase de voo	Decolagem	2,44E-01	3,89E-01	62,77%	-37,23%	17°
Parte Atingida	Asa	3,48E-02	8,50E-02	40,92%	-59,08%	18°
Velocidade	Maior 200kt	7,66E-05	1,85E-02	0,41%	-99,59%	19°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Também foi simulado evidência considerando que ocorre a colisão e também ocorre na altura de 500 a 3.500 pés. A BBN para este cenário pode ser visualizado na Figura 4.6.

Figura 4.6. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre entre 500 e 3.500 pés de altura.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

É apresentado na Tabela 4.6 as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência para altura entre 500 e 3.500 pés. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: entre 80 e 200 nós (234,35%), radome (134,01%), pouso (116,15%), fuselagem (115,42%), uma ave (101,15%), até 1.500 gramas (100,32%), noite (100,30%) e céu claro (100,13%) com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 9ª à 19ª posição do *ranking*, apresentaram os menores impactos.

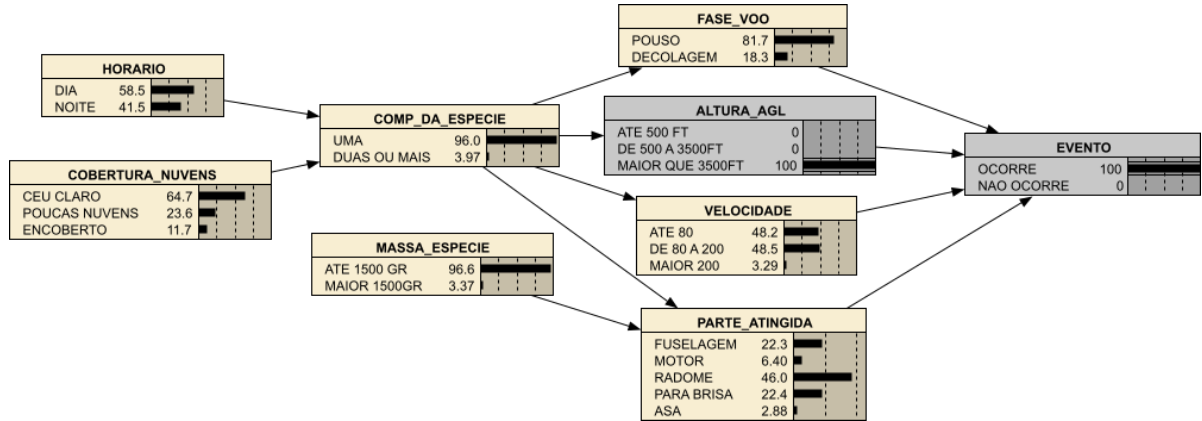
Tabela 4.6. Probabilidades cenário sem e com evidência de 500 a 3.500 pés de altura.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Altura AGL	Até 500ft	0	9,17E-01	-	-	-
Altura AGL	500 a 3500ft	1	6,19E-02	-	-	-
Altura AGL	Maior 3500ft	0	2,16E-02	-	-	-
Velocidade	80 a 200kt	7,40E-01	3,16E-01	234,35%	134,35%	1º
Parte Atingida	Radome	3,31E-01	2,47E-01	134,01%	34,01%	2º
Fase de voo	Pouso	7,09E-01	6,11E-01	116,15%	16,15%	3º
Parte Atingida	Fuselagem	3,21E-01	2,78E-01	115,42%	15,42%	4º
Comportamento da Espécie	Uma	9,36E-01	9,25E-01	101,15%	1,15%	5º
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,61E-01	9,58E-01	100,32%	0,32%	6º
Horário	Noite	4,12E-01	4,11E-01	100,30%	0,30%	7º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,46E-01	6,45E-01	100,13%	0,13%	8º
Horário	Dia	5,88E-01	5,89E-01	99,79%	-0,21%	9º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,77%	-0,23%	10º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,77%	-0,23%	11º
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,90E-02	4,21E-02	92,63%	-7,37%	12º
Parte Atingida	Motor	2,04E-01	2,37E-01	86,00%	-14,00%	13º
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,38E-02	7,45E-02	85,66%	-14,34%	14º
Fase de voo	Decolagem	2,91E-01	3,89E-01	74,68%	-25,32%	15º
Parte Atingida	Para-brisa	1,01E-01	1,53E-01	65,92%	-34,08%	16º
Parte Atingida	Asa	4,34E-02	8,50E-02	50,99%	-49,01%	17º
Velocidade	Até 80kt	2,55E-01	6,66E-01	38,30%	-61,70%	18º
Velocidade	Maior 200kt	4,63E-03	1,85E-02	24,99%	-75,01%	19º

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Por fim, foi simulado evidência considerando que ocorre a colisão e também ocorre na altura superior a 3.500 pés. A BBN para este cenário pode ser visualizado na Figura 4.7.

Figura 4.7. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre acima de 3.500 pés de altura.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.7 exibe as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão acima de 3.500 pés. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: radome (185,99%), maior que 200 nós (177,84%), de 80 a 200 nós (153,62%), para-brisa (146,62%), pouso (133,86%), uma ave (103,76%), noite (100,98%), até 1.500 gramas (100,88%) e céu claro (100,41%). Os demais estados, da 10ª à 19ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.7. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência acima de 3.500 pés de altura.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Altura AGL	Até 500ft	0	9,17E-01	-	-	-
Altura AGL	500 a 3500ft	0	6,19E-02	-	-	-
Altura AGL	Maior 3500ft	1	2,16E-02	-	-	-
Parte Atingida	Radome	4,60E-01	2,47E-01	185,99%	85,99%	1º
Velocidade	Maior 200kt	3,29E-02	1,85E-02	177,84%	77,84%	2º
Velocidade	80 a 200kt	4,85E-01	3,16E-01	153,62%	53,62%	3º
Parte Atingida	Para-brisa	2,24E-01	1,53E-01	146,62%	46,62%	4º
Fase de voo	Pouso	8,17E-01	6,11E-01	133,86%	33,86%	5º
Comportamento da Espécie	Uma	9,60E-01	9,25E-01	103,76%	3,76%	6º
Horário	Noite	4,15E-01	4,11E-01	100,98%	0,98%	7º
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,66E-01	9,58E-01	100,88%	0,88%	8º
Condições Ambientais	Céu Claro	6,47E-01	6,45E-01	100,41%	0,41%	9º
Horário	Dia	5,85E-01	5,89E-01	99,32%	-0,68%	10º
Condições Ambientais	Encoberto	1,17E-01	1,18E-01	99,27%	-0,73%	11º
Condições Ambientais	Poucas Nuvens	2,36E-01	2,37E-01	99,24%	-0,76%	12º
Parte Atingida	Fuselagem	2,23E-01	2,78E-01	80,36%	-19,64%	13º
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,37E-02	4,21E-02	79,95%	-20,05%	14º

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Velocidade	Até 80kt	4,82E-01	6,66E-01	72,38%	-27,62%	15°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	3,97E-02	7,45E-02	53,31%	-46,69%	16°
Fase de voo	Decolagem	1,83E-01	3,89E-01	46,89%	-53,11%	17°
Parte Atingida	Asa	2,88E-02	8,50E-02	33,89%	-66,11%	18°
Parte Atingida	Motor	6,40E-02	2,37E-01	27,01%	-72,99%	19°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Em síntese, a Tabela 4.8 apresenta síntese dos *rankings* dos estados com maiores impactos nos três cenários simulados para nó ‘altura AGL’. Os estados destacados em verde se repetem nos três *rankings*, variando posição. Os estados ‘fuselagem’ e ‘de 80 a 200 nós’ apresentaram impacto em dois dos cenários.

Tabela 4.8. Comparação do impacto dos estados – com evidência para o nó altura AGL.

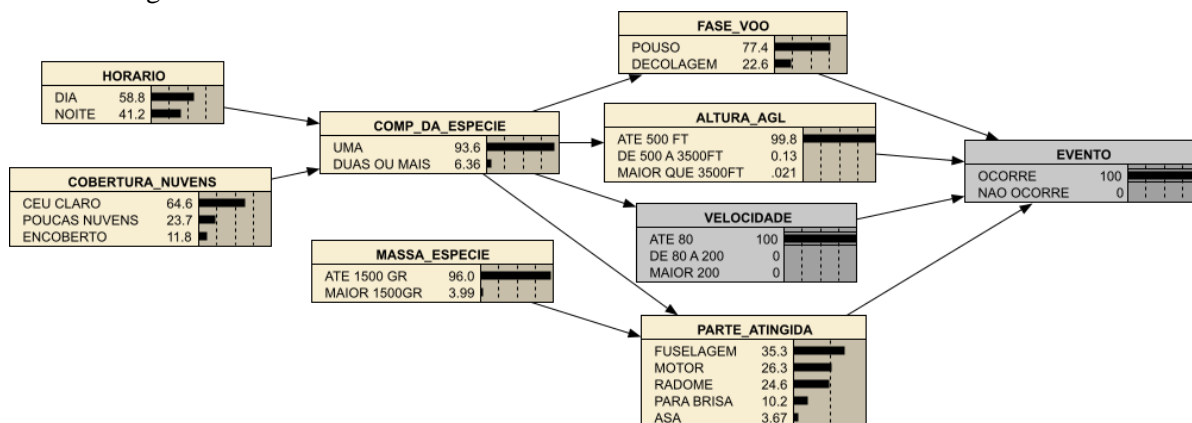
Ranking	Evidência: Até 500 pés		Evidência: De 500 a 3.500 pés		Evidência: Maior 3.500 pés	
	Estados	Impacto	Estados	Impacto	Estados	Impacto
1°	Fuselagem	24,46%	80 a 200kt	134,35%	Radome	85,99%
2°	Pouso	23,73%	Radome	34,01%	Maior 200kt	77,84%
3°	Até 80kt	16,60%	Pouso	16,15%	80 a 200kt	53,62%
4°	Motor	10,14%	Fuselagem	15,42%	Para-brisa	46,62%
5°	Radome	4,59%	Uma	1,15%	Pouso	33,86%
6°	Uma	0,50%	Até 1500gr	0,32%	Uma	3,76%
7°	Até 1500gr	0,26%	Noite	0,30%	Noite	0,98%
8°	Noite	0,13%	Céu Claro	0,13%	Até 1500gr	0,88%
9°	Céu Claro	0,05%			Céu Claro	0,41%

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

4.4 CENÁRIOS PARA O NÓ VELOCIDADE

A primeira simulação do nó velocidade considerou que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e evidência até 80 nós. Este cenário é exibido na Figura 4.8.

Figura 4.8. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre até 80 nós de velocidade



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.9 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão até 80 nós de velocidade. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: fuselagem (126,84%), pouso (126,69%), motor (110,86%), até 500 pés (108,94%), uma ave (101,18%), noite (100,31%), até 1.500 gramas (100,24%) e céu claro (100,13%). Os demais estados, da 9ª à 19ª posição no ranking apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.9. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência até 80 nós de velocidade.

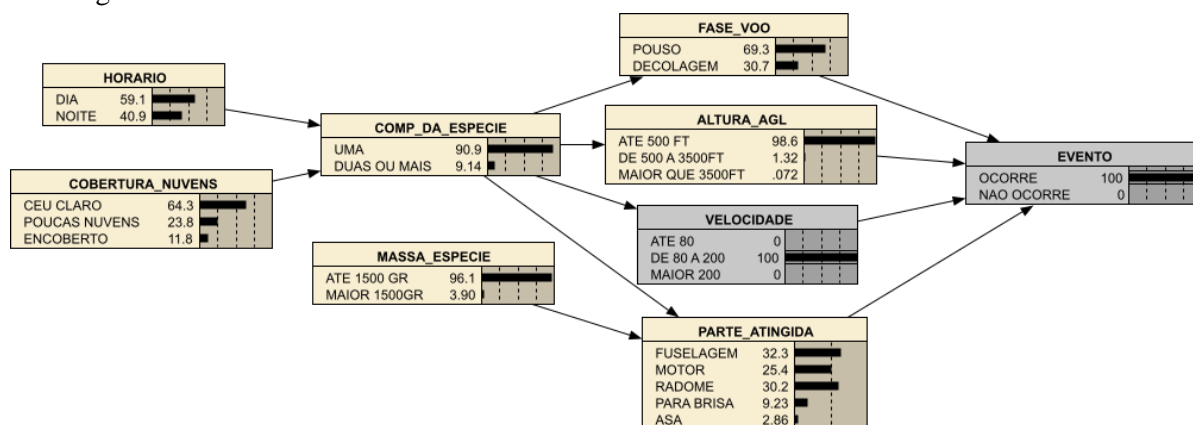
Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Velocidade	Até 80kt	1	0,6655	-	-	-
Velocidade	80 a 200kt	0	0,31597	-	-	-
Velocidade	Maior 200kt	0	0,018525	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	3,53E-01	2,78E-01	126,84%	26,84%	1º
Fase de voo	Pouso	7,74E-01	6,11E-01	126,69%	26,69%	2º
Parte Atingida	Motor	2,63E-01	2,37E-01	110,86%	10,86%	3º
Altura AGL	Até 500ft	9,98E-01	9,17E-01	108,94%	8,94%	4º
Comportamento da Espécie	Uma	9,36E-01	9,25E-01	101,18%	1,18%	5º
Horário	Noite	4,12E-01	4,11E-01	100,31%	0,31%	6º
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,60E-01	9,58E-01	100,24%	0,24%	7º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,46E-01	6,45E-01	100,13%	0,13%	8º
Horário	Dia	5,88E-01	5,89E-01	99,79%	-0,21%	9º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,77%	-0,23%	10º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,76%	-0,24%	11º
Parte Atingida	Radome	2,46E-01	2,47E-01	99,58%	-0,42%	12º
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,99E-02	4,21E-02	94,63%	-5,37%	13º

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,36E-02	7,45E-02	85,32%	-14,68%	14°
Parte Atingida	Para-brisa	1,02E-01	1,53E-01	66,65%	-33,35%	15°
Fase de voo	Decolagem	2,26E-01	3,89E-01	58,14%	-41,86%	16°
Parte Atingida	Asa	3,67E-02	8,50E-02	43,11%	-56,89%	17°
Altura AGL	500 a 3500ft	1,33E-03	6,19E-02	2,15%	-97,85%	18°
Altura AGL	Maior 3500ft	2,09E-04	2,16E-02	0,97%	-99,03%	19°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A segunda simulação do nó velocidade considerou que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e evidência de 80 a 200 nós. Este cenário é exibido na Figura 4.9.

Figura 4.9. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre entre 80 e 200 nós de velocidade.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.10 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão de 80 a 200 nós. Os estados que apresentaram maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: duas ou mais aves (122,61%), radome (122,33%), fuselagem (116,10%), pouso (113,50%), até 500 pés (107,59%), motor (107,17%), poucas nuvens (100,36%), encoberto (100,35%), dia (100,33%) e até 1.500 gramas (100,33%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 11ª a 19ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.10. Probabilidade cenário sem evidência e com evidência de 80 a 200 nós de velocidade.

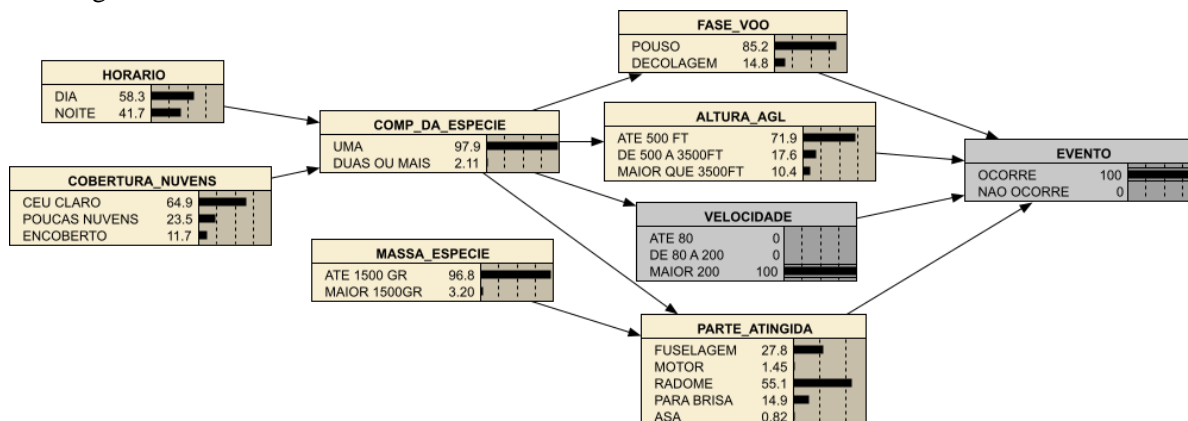
Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Velocidade	Até 80kt	0	6,66E-01	-	-	-
Velocidade	80 a 200kt	1	3,16E-01	-	-	-

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Velocidade	Maior 200kt	0	1,85E-02	-	-	-
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	9,14E-02	7,45E-02	122,61%	22,61%	1º
Parte Atingida	Radome	3,02E-01	2,47E-01	122,33%	22,33%	2º
Parte Atingida	Fuselagem	3,23E-01	2,78E-01	116,10%	16,10%	3º
Fase de voo	Pouso	6,93E-01	6,11E-01	113,50%	13,50%	4º
Altura AGL	Até 500ft	9,86E-01	9,17E-01	107,59%	7,59%	5º
Parte Atingida	Motor	2,54E-01	2,37E-01	107,17%	7,17%	6º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,38E-01	2,37E-01	100,36%	0,36%	7º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	100,35%	0,35%	8º
Horário	Dia	5,91E-01	5,89E-01	100,33%	0,33%	9º
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,61E-01	9,58E-01	100,33%	0,33%	10º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,43E-01	6,45E-01	99,80%	-0,20%	11º
Horário	Noite	4,09E-01	4,11E-01	99,52%	-0,48%	12º
Comportamento da Espécie	Uma	9,09E-01	9,25E-01	98,18%	-1,82%	13º
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,90E-02	4,21E-02	92,50%	-7,50%	14º
Fase de voo	Decolagem	3,07E-01	3,89E-01	78,83%	-21,17%	15º
Parte Atingida	Para-brisa	9,23E-02	1,53E-01	60,42%	-39,58%	16º
Parte Atingida	Asa	2,86E-02	8,50E-02	33,59%	-66,41%	17º
Altura AGL	500 a 3500ft	1,32E-02	6,19E-02	21,37%	-78,63%	18º
Altura AGL	Maior 3500ft	7,22E-04	2,16E-02	3,34%	-96,66%	19º

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Por fim, a Figura 4.10 apresenta a terceira simulação do nó velocidade que considerou que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e evidência mais que 200 nós.

Figura 4.10. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre acima de 200 nós de velocidade.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

As probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão acima de 200 nós, estão exibidas Tabela 4.11. Nesta simulação, dez estados apresentaram

aumento da probabilidade. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: maior que 3.500 pés (438,71%), de 500 a 3.500 pés (284,84%), radome (223,03%), pouso (139,51%), uma ave (105,78%), noite (101,51%), até 1.500 gramas (101,06%) e céu claro (100,63%). Os demais estados, da 9ª à 19ª posição do *ranking*, apresentaram impactos menores.

Tabela 4.11. Probabilidade cenário sem evidência e com evidência acima de 200 nós de velocidade.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Velocidade	Até 80kt	0	6,66E-01	-	-	-
Velocidade	80 a 200kt	0	3,16E-01	-	-	-
Velocidade	Maior 200kt	1	1,85E-02	-	-	-
Altura AGL	Maior 3500ft	1,04E-01	2,16E-02	483,71%	383,71%	1°
Altura AGL	500 a 3500ft	1,76E-01	6,19E-02	284,84%	184,84%	2°
Parte Atingida	Radome	5,51E-01	2,47E-01	223,03%	123,03%	3°
Fase de voo	Pouso	8,52E-01	6,11E-01	139,51%	39,51%	4°
Comportamento da Espécie	Uma	9,79E-01	9,25E-01	105,78%	5,78%	5°
Horário	Noite	4,17E-01	4,11E-01	101,51%	1,51%	6°
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,68E-01	9,58E-01	101,06%	1,06%	7°
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,49E-01	6,45E-01	100,63%	0,63%	8°
Parte Atingida	Fuselagem	2,78E-01	2,78E-01	99,84%	-0,16%	9°
Horário	Dia	5,83E-01	5,89E-01	98,95%	-1,05%	10°
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,17E-01	1,18E-01	98,89%	-1,11%	11°
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,35E-01	2,37E-01	98,84%	-1,16%	12°
Parte Atingida	Para-brisa	1,49E-01	1,53E-01	97,23%	-2,77%	13°
Altura AGL	Até 500ft	7,19E-01	9,17E-01	78,48%	-21,52%	14°
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,20E-02	4,21E-02	75,99%	-24,01%	15°
Fase de voo	Decolagem	1,48E-01	3,89E-01	38,03%	-61,97%	16°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	2,11E-02	7,45E-02	28,27%	-71,73%	17°
Parte Atingida	Asa	8,15E-03	8,50E-02	9,59%	-90,41%	18°
Parte Atingida	Motor	1,45E-02	2,37E-01	6,11%	-93,89%	19°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.12 apresenta uma síntese dos impactos dos estados em cada cenário simulado. Os estados sinalizados em cor verde apresentam impacto nos três cenários. Os estados sinalizados pela cor azul apresentam impacto na primeira e segunda simulação e os sinalizados pela cor laranja, apresentam impacto na primeira e terceira simulação. O estado radome

apresenta impacto na segunda e terceira simulação. Há ainda estados isolados, que aparecem em somente um dos *rankings*.

Tabela 4.12. Comparação do impacto dos estados – com evidência para o nó velocidade.

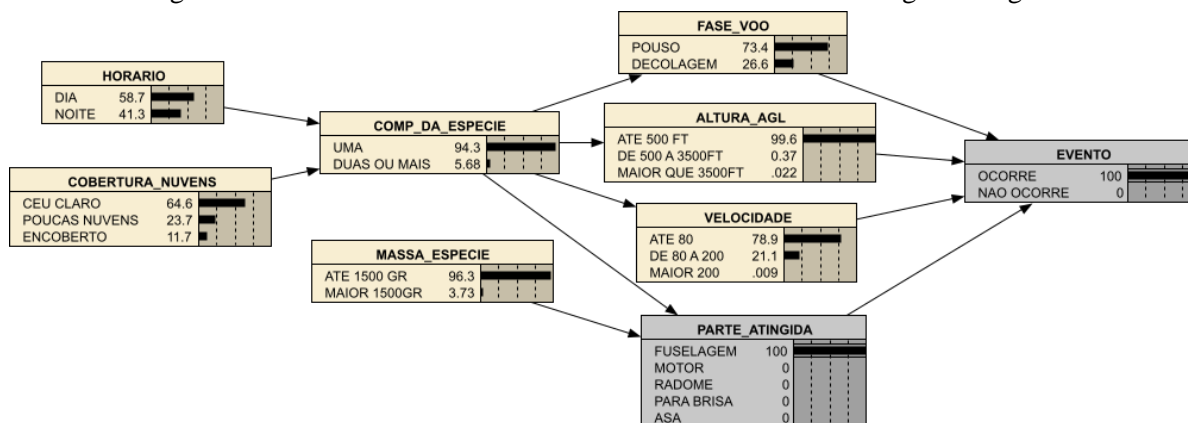
Ranking	Evidência: Até 80 nós		Evidência: de 80 a 200 nós		Evidência: Maior 200 nós	
	Estados	Impacto	Estados	Impacto	Estados	Impacto
1º	Fuselagem	26,84%	Duas ou mais	22,61%	Maior 3500ft	383,71%
2º	Pouso	26,69%	Radome	22,33%	500 a 3500ft	184,84%
3º	Motor	10,86%	Fuselagem	16,10%	Radome	123,03%
4º	Até 500ft	8,94%	Pouso	13,50%	Pouso	39,51%
5º	Uma	1,18%	Até 500ft	7,59%	Uma	5,78%
6º	Noite	0,31%	Motor	7,17%	Noite	1,51%
7º	Até 1500gr	0,24%	Poucas Nuvens	0,36%	Até 1500gr	1,06%
8º	Céu Claro	0,13%	Encoberto	0,35%	Céu Claro	0,63%
9º			Dia	0,33%		
10º			Até 1500gr	0,33%		

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

4.5 CENÁRIOS PARA O NÓ PARTE ATINGIDA

Foram também realizadas simulações do nó ‘Parte Atingida’. A primeira simulação considerou que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e evidência na fuselagem. Este cenário é apresentado na Figura 4.11.

Figura 4.11. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge fuselagem.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.13 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão que atinge a fuselagem. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: pouso (120,24%), até 80 nós (118,55%), até 500 pés (108,68%), uma ave (101,91%), até 1.500 gramas (100,51%), noite (100,50%) e céu claro, (100,21%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 8ª à 17ª posição do *ranking*, apresentaram os impactos menores.

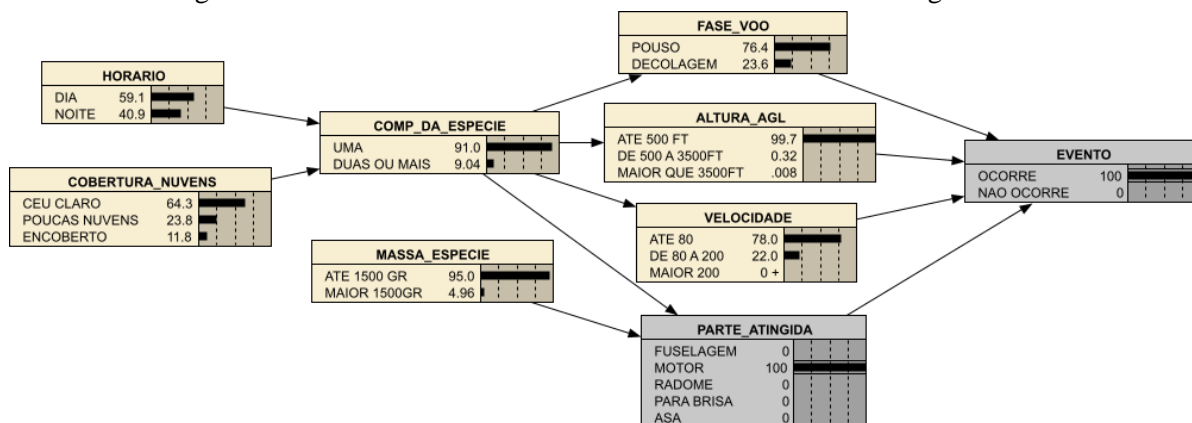
Tabela 4.13. Probabilidades cenário sem e com evidência: atinge fuselagem.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	1	2,78E-01	-	-	-
Parte Atingida	Motor	0	2,37E-01	-	-	-
Parte Atingida	Radome	0	2,47E-01	-	-	-
Parte Atingida	Para-brisa	0	1,53E-01	-	-	-
Parte Atingida	Asa	0	8,50E-02	-	-	-
Fase de voo	Pouso	7,34E-01	6,11E-01	120,24%	20,24%	1°
Velocidade	Até 80kt	7,89E-01	6,66E-01	118,55%	18,55%	2°
Altura AGL	Até 500ft	9,96E-01	9,17E-01	108,68%	8,68%	3°
Comportamento da Espécie	Uma	9,43E-01	9,25E-01	101,91%	1,91%	4°
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,63E-01	9,58E-01	100,51%	0,51%	5°
Horário	Noite	4,13E-01	4,11E-01	100,50%	0,50%	6°
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,46E-01	6,45E-01	100,21%	0,21%	7°
Horário	Dia	5,87E-01	5,89E-01	99,65%	-0,35%	8°
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,17E-01	1,18E-01	99,63%	-0,37%	9°
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,62%	-0,38%	10°
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,73E-02	4,21E-02	88,52%	-11,48%	11°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	5,68E-02	7,45E-02	76,26%	-23,74%	12°
Fase de voo	Decolagem	2,66E-01	3,89E-01	68,26%	-31,74%	13°
Velocidade	80 a 200kt	2,11E-01	3,16E-01	66,78%	-33,22%	14°
Altura AGL	500 a 3500ft	3,75E-03	6,19E-02	6,05%	-93,95%	15°
Altura AGL	Maior 3500ft	2,17E-04	2,16E-02	1,01%	-98,99%	16°
Velocidade	Maior 200kt	8,51E-05	1,85E-02	0,46%	-99,54%	17°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Também foi simulado evidência considerando que ocorre a colisão e atinge o motor. A BBN para este cenário por ser visualizada na Figura 4.12.

Figura 4.12. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge motor.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.14 exibe as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão que atinge o motor. Os estados que apresentam maiores impactos, acompanhados de seu aumento da probabilidade são: pouso (125,11%), duas ou mais aves (121,35%), maior que 1.500 gramas (117,80%), até 80 nós (117,16%), até 500 pés (108,75%), poucas nuvens (100,35%), encoberto (100,32%) e dia, (100,31%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 9ª a 17ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.14. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge motor.

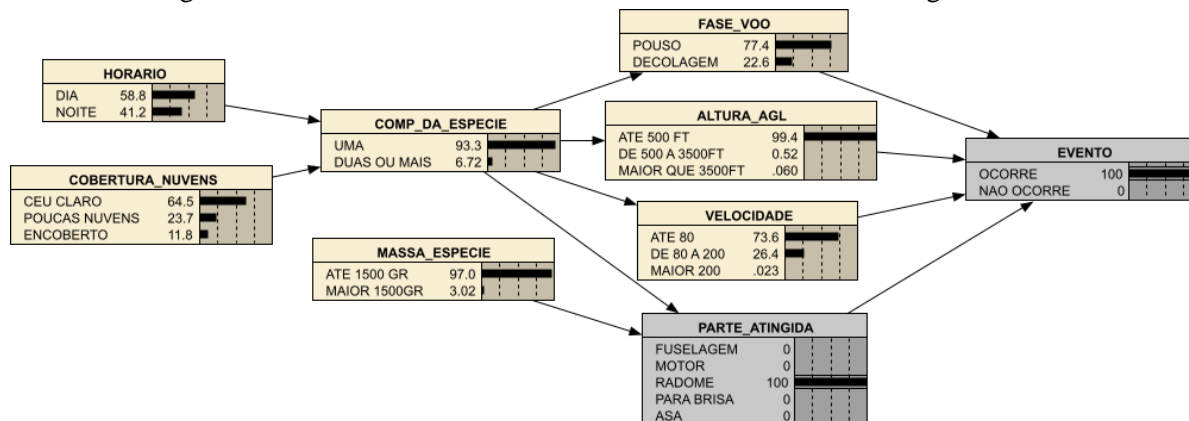
Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	0	2,78E-01	-	-	-
Parte Atingida	Motor	1	2,37E-01	-	-	-
Parte Atingida	Radome	0	2,47E-01	-	-	-
Parte Atingida	Para-brisa	0	1,53E-01	-	-	-
Parte Atingida	Asa	0	8,50E-02	-	-	-
Fase de voo	Pouso	7,64E-01	6,11E-01	125,11%	25,11%	1º
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	9,04E-02	7,45E-02	121,35%	21,35%	2º
Massa da Espécie	Maior 1500gr	4,96E-02	4,21E-02	117,80%	17,80%	3º
Velocidade	Até 80kt	7,80E-01	6,66E-01	117,16%	17,16%	4º
Altura AGL	Até 500ft	9,97E-01	9,17E-01	108,75%	8,75%	5º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,38E-01	2,37E-01	100,35%	0,35%	6º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	100,32%	0,32%	7º
Horário	Dia	5,91E-01	5,89E-01	100,31%	0,31%	8º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,43E-01	6,45E-01	99,81%	-0,19%	9º

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Horário	Noite	4,09E-01	4,11E-01	99,55%	-0,45%	10°
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,50E-01	9,58E-01	99,22%	-0,78%	11°
Comportamento da Espécie	Uma	9,10E-01	9,25E-01	98,28%	-1,72%	12°
Velocidade	80 a 200kt	2,20E-01	3,16E-01	69,71%	-30,29%	13°
Fase de voo	Decolagem	2,36E-01	3,89E-01	60,61%	-39,39%	14°
Altura AGL	500 a 3500ft	3,16E-03	6,19E-02	5,10%	-94,90%	15°
Altura AGL	Maior 3500ft	8,26E-05	2,16E-02	0,38%	-99,62%	16°
Velocidade	Maior 200kt	5,89E-06	1,85E-02	0,03%	-99,97%	17°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A terceira simulação realizada considerou que a colisão com ave ocorre e atinge o radome da aeronave. A Figura 4.13 exibe este cenário.

Figura 4.13. BBN – Cenário com evidência – evento ocorre e atinge radome.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.15 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão que atinge o radome. Sete estados apresentam aumento da probabilidade. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: pouso (126,67%), até 80 nós (110,55%), até 500 pés (108,48%), até 1.500 gramas (101,24%), uma ave (100,78%), noite (100,20%) e céu claro (100,09%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 8ª a 17ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.15. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge radome.

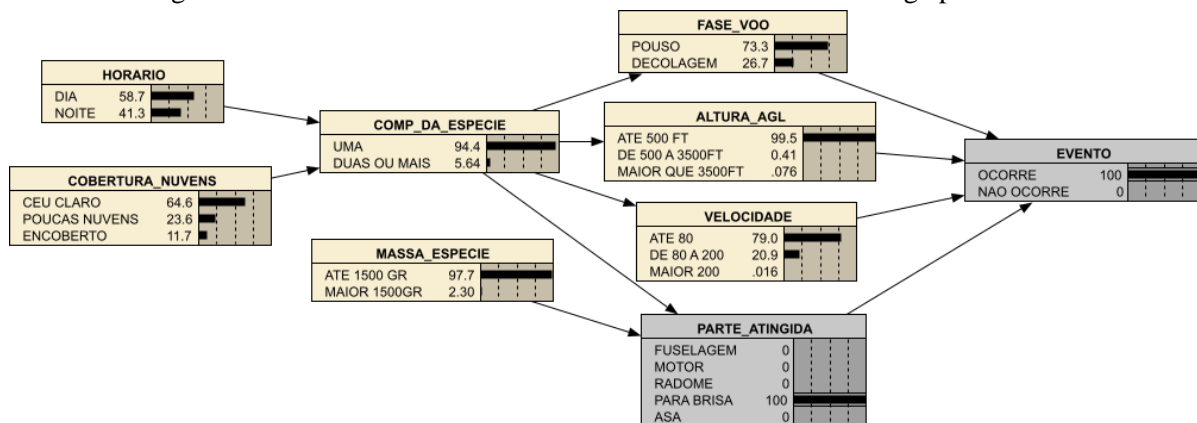
Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Parte Atingida	Fuselagem	0	2,78E-01	-	-	-
Parte Atingida	Motor	0	2,37E-01	-	-	-
Parte Atingida	Radome	1	2,47E-01	-	-	-
Parte Atingida	Para-brisa	0	1,53E-01	-	-	-
Parte Atingida	Asa	0	8,50E-02	-	-	-
Fase de voo	Pouso	7,74E-01	6,11E-01	126,67%	26,67%	1°
Velocidade	Até 80kt	7,36E-01	6,66E-01	110,55%	10,55%	2°
Altura AGL	Até 500ft	9,94E-01	9,17E-01	108,48%	8,48%	3°
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,70E-01	9,58E-01	101,24%	1,24%	4°
Comportamento da Espécie	Uma	9,33E-01	9,25E-01	100,78%	0,78%	5°
Horário	Noite	4,12E-01	4,11E-01	100,20%	0,20%	6°
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,45E-01	6,45E-01	100,09%	0,09%	7°
Horário	Dia	5,88E-01	5,89E-01	99,86%	-0,14%	8°
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,85%	-0,15%	9°
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,84%	-0,16%	10°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,72E-02	7,45E-02	90,25%	-9,75%	11°
Velocidade	80 a 200kt	2,64E-01	3,16E-01	83,58%	-16,42%	12°
Massa da Espécie	Maior 1500gr	3,02E-02	4,21E-02	71,79%	-28,21%	13°
Fase de voo	Decolagem	2,26E-01	3,89E-01	58,17%	-41,83%	14°
Altura AGL	500 a 3500ft	5,17E-03	6,19E-02	8,35%	-91,65%	15°
Altura AGL	Maior 3500ft	5,98E-04	2,16E-02	2,77%	-97,23%	16°
Velocidade	Maior 200kt	2,26E-04	1,85E-02	1,22%	-98,78%	17°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Na Figura 4.14 é apresentado a BBN do cenário simulado considerando que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e atinge o para-brisa da aeronave.

Figura 4.14. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge para-brisa.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.16 mostra as probabilidades de cada estado por nó, dos cenários com e sem evidência de colisão que atinge o para-brisa. Se estados apresentaram aumento da probabilidade. Os estados com os maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade são: pouso (120,11%), até 80 nós (118,78%), até 500 pés (108,58%), até 1.500 gramas (102,00%), uma ave (101,96%), noite (100,51%) e céu claro (100,21%). Os demais estados, da 8ª à 17ª posição do *ranking*, apresentaram os menores impactos.

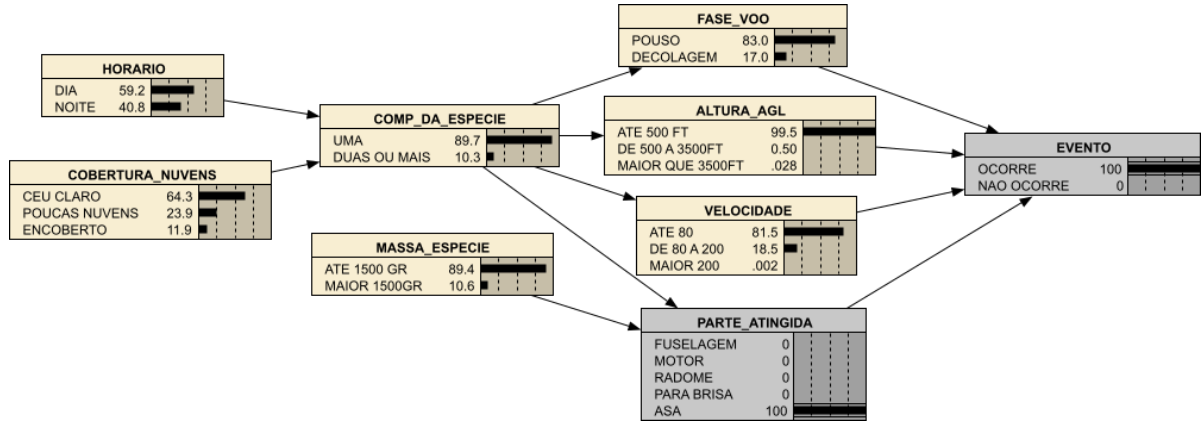
Tabela 4.16. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge para-brisa.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	0	2,78E-01	-	-	-
Parte Atingida	Motor	0	2,37E-01	-	-	-
Parte Atingida	Radome	0	2,47E-01	-	-	-
Parte Atingida	Para-brisa	1	1,53E-01	-	-	-
Parte Atingida	Asa	0	8,50E-02	-	-	-
Fase de voo	Pouso	7,33E-01	6,11E-01	120,11%	20,11%	1°
Velocidade	Até 80kt	7,90E-01	6,66E-01	118,78%	18,78%	2°
Altura AGL	Até 500ft	9,95E-01	9,17E-01	108,58%	8,58%	3°
Massa da Espécie	Até 1500gr	9,77E-01	9,58E-01	102,00%	2,00%	4°
Comportamento da Espécie	Uma	9,44E-01	9,25E-01	101,96%	1,96%	5°
Horário	Noite	4,13E-01	4,11E-01	100,51%	0,51%	6°
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,46E-01	6,45E-01	100,21%	0,21%	7°
Horário	Dia	5,87E-01	5,89E-01	99,64%	-0,36%	8°
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,17E-01	1,18E-01	99,62%	-0,38%	9°
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,36E-01	2,37E-01	99,60%	-0,40%	10°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	5,64E-02	7,45E-02	75,65%	-24,35%	11°
Fase de voo	Decolagem	2,67E-01	3,89E-01	68,46%	-31,54%	12°
Velocidade	80 a 200kt	2,09E-01	3,16E-01	66,27%	-33,73%	13°
Massa da Espécie	Maior 1500gr	2,30E-02	4,21E-02	54,57%	-45,43%	14°
Altura AGL	500 a 3500ft	4,08E-03	6,19E-02	6,59%	-93,41%	15°
Altura AGL	Maior 3500ft	7,56E-04	2,16E-02	3,50%	-96,50%	16°
Velocidade	Maior 200kt	1,58E-04	1,85E-02	0,85%	-99,15%	17°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Por fim, foi simulado cenário que considerou que a colisão com ave ocorre com evidência no evento e de atingir a asa da aeronave. Este cenário pode ser visualizado na Figura 4.15.

Figura 4.15. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e atinge asa.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.17 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão que atinge a asa da aeronave. Oito estados apresentaram aumento da probabilidade. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade, são: maior que 1.500 gramas (252,45%), duas ou mais aves (138,63%), pouso (135,91%), até 80 nós (122,39%), até 500 pés (108,53%), poucas nuvens (100,62%), encoberto (100,59%) e dia (100,57%), com grau de importância nesta ordem. Os demais estados, da 9ª à 17ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

Tabela 4.17. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge asa.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	0	2,78E-01	-	-	-
Parte Atingida	Motor	0	2,37E-01	-	-	-
Parte Atingida	Radome	0	2,47E-01	-	-	-
Parte Atingida	Para-brisa	0	1,53E-01	-	-	-
Parte Atingida	Asa	1	8,50E-02	-	-	-
Massa da Espécie	Maior 1500gr	1,06E-01	4,21E-02	252,45%	152,45%	1º
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	1,03E-01	7,45E-02	138,63%	38,63%	2º
Fase de voo	Pouso	8,30E-01	6,11E-01	135,91%	35,91%	3º
Velocidade	Até 80kt	8,15E-01	6,66E-01	122,39%	22,39%	4º
Altura AGL	Até 500ft	9,95E-01	9,17E-01	108,53%	8,53%	5º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,39E-01	2,37E-01	100,62%	0,62%	6º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,19E-01	1,18E-01	100,59%	0,59%	7º
Horário	Dia	5,92E-01	5,89E-01	100,57%	0,57%	8º
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,43E-01	6,45E-01	99,66%	-0,34%	9º

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Horário	Noite	4,08E-01	4,11E-01	99,19%	-0,81%	10°
Comportamento da Espécie	Uma	8,97E-01	9,25E-01	96,89%	-3,11%	11°
Massa da Espécie	Até 1500gr	8,94E-01	9,58E-01	93,30%	-6,70%	12°
Velocidade	80 a 200kt	1,85E-01	3,16E-01	58,69%	-41,31%	13°
Fase de voo	Decolagem	1,70E-01	3,89E-01	43,68%	-56,32%	14°
Altura AGL	500 a 3500ft	5,03E-03	6,19E-02	8,12%	-91,88%	15°
Altura AGL	Maior 3500ft	2,78E-04	2,16E-02	1,29%	-98,71%	16°
Velocidade	Maior 200kt	2,48E-05	1,85E-02	0,13%	-99,87%	17°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.18 apresenta síntese dos *ranking* dos estados que apresentaram os maiores impactos para cada um dos 3 primeiros cenários simulados - com evidência no evento e evidência que atinge fuselagem, radome e para-brisa. Os estados sinalizados pela cor azul, mantem mesma posição no *ranking* dos três cenários. Os estados marcados em cor verde e laranja, alternam posições no *ranking* do primeiro para o segundo e terceiro cenários. De modo geral, os mesmos estados apresentaram aumento da probabilidade.

Tabela 4.18. Comparação do impacto dos estados – com evidência no nó parte atingida (fuselagem, radome e para-brisa).

Ranking	Evidência: Fuselagem		Evidência: Radome		Evidência: Para-brisa	
	Estados	Impacto	Estados	Impacto	Estados	Impacto
1°	Pouso	20,24%	Pouso	26,67%	Pouso	20,11%
2°	Até 80kt	18,55%	Até 80kt	10,55%	Até 80kt	18,78%
3°	Até 500ft	8,68%	Até 500ft	8,48%	Até 500ft	8,58%
4°	Uma	1,91%	Até 1500gr	1,24%	Até 1500gr	2,00%
5°	Até 1500gr	0,51%	Uma	0,78%	Uma	1,96%
6°	Noite	0,50%	Noite	0,20%	Noite	0,51%
7°	Céu Claro	0,21%	Céu Claro	0,09%	Céu Claro	0,21%

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

Já a Tabela 4.19 apresenta síntese dos estados com maiores impactos devido aumento da probabilidade para cada um dos demais cenários simulados – com evidência no evento e evidência que atinge motor ou asa da aeronave. Os estados sinalizados pela cor azul, também apresentam impacto nos cenários exibidos anteriormente – vide Tabela 4.18. De modo geral, entre estes dois cenários, os mesmos estados apresentaram aumento da probabilidade, alternando posições do *ranking*.

Tabela 4.19. Comparação do impacto dos estados – com evidência no nó parte atingida (motor e asa).

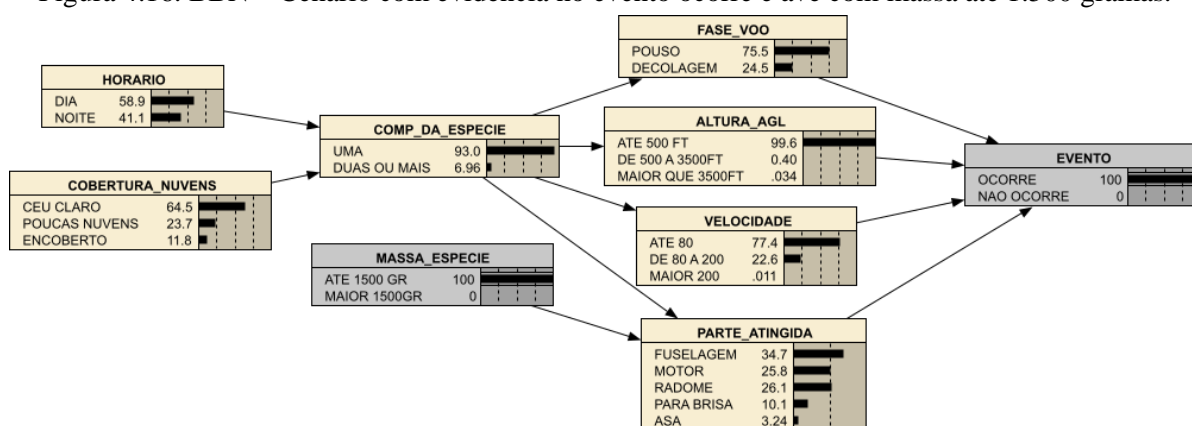
Ranking	Evidência: Motor		Evidência: Asa	
	Estados	Impacto	Estados	Impacto
1°	Pouso	25,11%	Maior 1500gr	152,45%
2°	Duas ou mais	21,35%	Duas ou mais	38,63%
3°	Maior 1500gr	17,80%	Pouso	35,91%
4°	Até 80kt	17,16%	Até 80kt	22,39%
5°	Até 500ft	8,75%	Até 500ft	8,53%
6°	Poucas Nuvens	0,35%	Poucas Nuvens	0,62%
7°	Encoberto	0,32%	Encoberto	0,59%
8°	Dia	0,31%	Dia	0,57%

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

4.6 CENÁRIOS PARA O NÓ MASSA DA ESPÉCIE

Nas últimas simulações realizadas neste estudo, foi considerado evidência para cada estado do nó ‘Massa da Espécie’. A primeira simulação realizada considerou cenário com evidência de colisão com ave de até 1.500 gramas. Este cenário pode ser visualizado na Figura 4.16.

Figura 4.16. BBN – Cenário com evidência no evento ocorre e ave com massa até 1.500 gramas.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.20 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão com ave de até 1.500 gramas. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade, são: fuselagem (124,72%), pouso (123,67%), até 80 nós (116,25%), motor (108,87%), até 500 pés (108,63%), radome (105,76%), uma ave (100,53%), noite (100,14%) e céu claro (100,06%), com grau de importância na ordem citada. Os demais estados, da 10ª à 20ª posição do ranking, apresentaram os menores impactos.

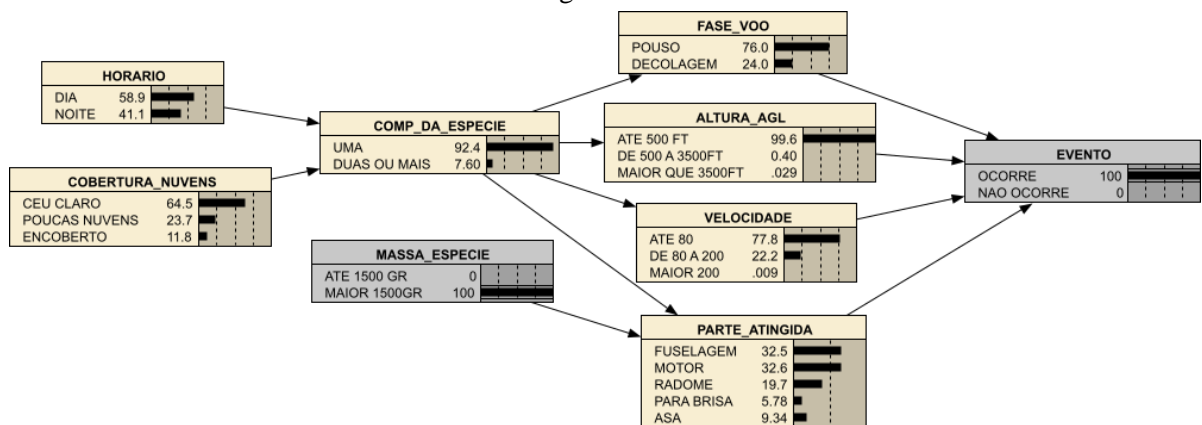
Tabela 4.20. Probabilidades cenário sem evidência e com evidência: atinge ave até 1.500 gramas.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumento da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Massa da Espécie	Até 1500gr	1	9,58E-01	-	-	-
Massa da Espécie	Maior 1500gr	0	4,21E-02	-	-	-
Parte Atingida	Fuselagem	3,47E-01	2,78E-01	124,72%	24,72%	1°
Fase de voo	Pouso	7,55E-01	6,11E-01	123,67%	23,67%	2°
Velocidade	Até 80kt	7,74E-01	6,66E-01	116,25%	16,25%	3°
Parte Atingida	Motor	2,58E-01	2,37E-01	108,87%	8,87%	4°
Altura AGL	Até 500ft	9,96E-01	9,17E-01	108,63%	8,63%	5°
Parte Atingida	Radome	2,61E-01	2,47E-01	105,76%	5,76%	6°
Comportamento da Espécie	Uma	9,30E-01	9,25E-01	100,53%	0,53%	7°
Horário	Noite	4,11E-01	4,11E-01	100,14%	0,14%	8°
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,45E-01	6,45E-01	100,06%	0,06%	9°
Horário	Dia	5,89E-01	5,89E-01	99,90%	-0,10%	10°
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	99,90%	-0,10%	11°
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	99,89%	-0,11%	12°
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	6,96E-02	7,45E-02	93,41%	-6,59%	13°
Velocidade	80 a 200kt	2,26E-01	3,16E-01	71,61%	-28,39%	14°
Parte Atingida	Para-brisa	1,01E-01	1,53E-01	66,38%	-33,62%	15°
Fase de voo	Decolagem	2,45E-01	3,89E-01	62,87%	-37,13%	16°
Parte Atingida	Asa	3,24E-02	8,50E-02	38,11%	-61,89%	17°
Altura AGL	500 a 3500ft	4,04E-03	6,19E-02	6,53%	-93,47%	18°
Altura AGL	Maior 3500ft	3,39E-04	2,16E-02	1,57%	-98,43%	19°
Velocidade	Maior 200kt	1,07E-04	1,85E-02	0,58%	-99,42%	20°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Figura 4.17 exibe a BBN para a simulação realizada considerando cenário com evidência de colisão com ave de massa corporal superior a 1.500 gramas.

Figura 4.17. BBN – Cenário com evidência: evento ocorre e envolve ave com massa maior que 1.500 gramas.



Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

A Tabela 4.21 apresenta as probabilidades de cada estado por nó, para os cenários com e sem evidência de colisão com ave de massa corporal superior a 1.500 gramas. Dez estados apresentaram aumento da probabilidade. Os estados que apresentam maiores impactos, com seus respectivos aumento da probabilidade, são: motor (137,65%), pouso (124,52%), fuselagem (116,97%), até 80 nós (116,87%), asa da aeronave (109,81%), até 500 pés (108,64%), duas ou mais aves (101,97%), poucas nuvens (100,03%), dia (100,03%) e céu encoberto (100,03%), com grau de importância na ordem citada. Os demais estados, da 11ª posição à 20ª posição do ranking, apresentaram impactos menores.

Tabela 4.21. Probabilidades cenário sem e com evidência: atinge ave maior que 1.500 gramas.

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumenta da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Evento	Ocorre	1	2,6293E-05	-	-	-
Evento	Não ocorre	0	9,9997E-01	-	-	-
Massa da Espécie	Até 1500gr	0	9,58E-01	-	-	-
Massa da Espécie	Maior 1500gr	1	4,21E-02	-	-	-
Parte Atingida	Motor	3,26E-01	2,37E-01	137,65%	37,65%	1º
Fase de voo	Pouso	7,60E-01	6,11E-01	124,52%	24,52%	2º
Parte Atingida	Fuselagem	3,25E-01	2,78E-01	116,97%	16,97%	3º
Velocidade	Até 80kt	7,78E-01	6,66E-01	116,87%	16,87%	4º
Parte Atingida	Asa	9,34E-02	8,50E-02	109,81%	9,81%	5º
Altura AGL	Até 500ft	9,96E-01	9,17E-01	108,64%	8,64%	6º
Comportamento da Espécie	Duas ou mais	7,60E-02	7,45E-02	101,97%	1,97%	7º
Cobertura de Nuvens	Poucas Nuvens	2,37E-01	2,37E-01	100,03%	0,03%	8º
Horário	Dia	5,89E-01	5,89E-01	100,03%	0,03%	9º
Cobertura de Nuvens	Encoberto	1,18E-01	1,18E-01	100,03%	0,03%	10º

Nó	Estados	Com evidência (A)	Sem evidência (B)	Aumenta da Probabilidade (A/B)*100	Impacto	Ranking
Cobertura de Nuvens	Céu Claro	6,45E-01	6,45E-01	99,98%	-0,02%	11°
Horário	Noite	4,11E-01	4,11E-01	99,96%	-0,04%	12°
Comportamento da Espécie	Uma	9,24E-01	9,25E-01	99,84%	-0,16%	13°
Parte Atingida	Radome	1,97E-01	2,47E-01	79,87%	-20,13%	14°
Velocidade	80 a 200kt	2,22E-01	3,16E-01	70,30%	-29,70%	15°
Fase de voo	Decolagem	2,40E-01	3,89E-01	61,53%	-38,47%	16°
Parte Atingida	Para-brisa	5,78E-02	1,53E-01	37,82%	-62,18%	17°
Altura AGL	500 a 3500ft	3,97E-03	6,19E-02	6,42%	-93,58%	18°
Altura AGL	Maior 3500ft	2,86E-04	2,16E-02	1,32%	-98,68%	19°
Velocidade	Maior 200kt	8,56E-05	1,85E-02	0,46%	-99,54%	20°

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

De modo comparativo, a Tabela 4.22 apresenta o ranqueamento dos estados que apresentaram os maiores impactos nos cenários simulados para o nó ‘massa da espécie’. O estado pouso mantém-se na 2ª posição como destacado pela cor azul. Os estados destacadas pela cor verde sinaliza que eles se repetem entre as simulações variando somente posição no ranking. Os estados não sinalizados por cores, apresentam impacto somente em cada um dos cenários simulados.

Tabela 4.22. Comparação do impacto dos estados – com evidência para o nó massa da espécie.

Ranking	Evidência: Até 1.500 gramas		Evidência: Mais que 1.500 gramas	
	Estados	Impacto	Estados	Impacto
1°	Fuselagem	24,72%	Motor	37,65%
2°	Pouso	23,67%	Pouso	24,52%
3°	Até 80kt	16,25%	Fuselagem	16,97%
4°	Motor	8,87%	Até 80kt	16,87%
5°	Até 500ft	8,63%	Asa	9,81%
6°	Radome	5,76%	Até 500ft	8,64%
7°	Uma	0,53%	Duas ou mais	1,97%
8°	Noite	0,14%	Poucas Nuvens	0,03%
9°	Céu Claro	0,06%	Dia	0,03%
			Encoberto	0,03%

Fonte: Elaborado pela Autora (2023).

4.7 COMPARAÇÃO GERAL DOS IMPACTOS

A Tabela 4.23 exhibe todos os impactos dos estados para cada cenário com evidência simulado de modo a sintetizar globalmente os resultados encontrados. Reforça-se que o

impactos é a proporção entre a probabilidade dos estados nos cenários com evidência em relação a probabilidade no cenário sem evidência de colisão.

Os primeiro e segundo pior cenário encontrado, refere-se à evidência de colisão com velocidades de aeronaves acima de 200 nós, o estado ‘acima de 3.500 pés’ do nó ‘Altura AGL’ apresentou impacto de 383,71% e, o estado ‘de 500 a 3.500 pés’ do nó ‘Altura AGL’ apresentou impacto de 184,84% de ocorrer o acidente nestas condições. O terceiro pior cenário encontrado foi quando, inserido evidência de que a asa da aeronave é atingida, tendo o estado ave ‘maior que 1.500 gramas’ do nó ‘massa da espécie’ com impacto de 152,42% de ocorrer o acidente. Os valores estão destacados em vermelho da Tabela 4.23.

Um ponto que merece destaque refere-se à fase de pouso, por se apresentar como a mais crítica quando se tem evidência de colisão que tenha atingido quaisquer uma das partes da aeronave. Ressalta-se ainda que, os impactos observados da fase de pouso é o maior dentro dos cenários com evidência da parte atingida ‘fuselagem’, ‘motor’, ‘radome’ e ‘para-brisa’. Já no cenário com evidência de colisão ter atingido a ‘asa’, a fase de pouso é o 3º maior impacto. Quando a evidência de colisão é em qualquer uma das fases - pouso ou decolagem - a parte atingida crítica é a fuselagem. Os valores estão circulados pela cor rosa na Tabela 4.23.

Quando observamos o cenário com evidência de colisão com ave de massa corporal até 1.500 gramas, a parte atingida crítica foi a ‘fuselagem’ com impacto de 24,72%. Em contrapartida, com evidência de colisão com ave de massa corporal superior a 1.500 gramas, a parte crítica da aeronave com maior impacto é ‘motor’, com 37,65%. Observando a evidência de colisão nas partes da aeronave, verificou-se que o estado correspondente a aves de ‘até 1.500 gramas’ tem impacto baixo para a ‘fuselagem (0,51%)’, ‘radome (1,24%)’ e ‘para-brisa (2%)’. O estado correspondente a aves de ‘mais que 1.500 gramas’ são críticas para as partes ‘motor (17,8%)’ e ‘asa (152,45%)’. Os valores estão destacados em cor vermelha da Tabela 4.23.

Independentemente o tamanho da massa corporal da ave atingida, inserida como evidência no modelo de acidente, o estado referente a faixa de altura que se revelou como crítico foi ‘até 500 pés’ com impacto superior a 8%. Já se inserido evidência de colisão em ambas as três faixas de altura, o estado referente a aves com ‘até 1.500 gramas’ de massa corporal apresenta-se como maior impacto para a ocorrência da colisão. Os valores referentes a estas observações estão na cor amarela da Tabela 4.23.

Tabela 4.23. Comparativo geral dos impactos por estados e cenários com evidência.

ESTADOS	EVIDÊNCIAS															
	Cenário Base	Até 500ft	500 a 3500ft	Maior 3500ft	Pouso	Decolagem	Fuselagem	Motor	Radome	Para-brisa	Asa	Até 80kt	80 a 200kt	Maior 200kt	Até 1.500 gr	Maior 1.500 gr
Ocorre	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Não ocorre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Até 500ft	8,63%	100%	0	0	8,65%	8,56%	8,68%	8,75%	8,48%	8,58%	8,53%	8,94%	7,59%	-21,52%	8,63%	8,64%
500 a 3500ft	-93,47%	0	100%	0	-93,87%	-92,24%	-93,95%	-94,90%	-91,65%	-93,41%	-91,88%	-97,85%	-78,63%	184,84%	-93,47%	-93,58%
Maior 3500ft	-98,44%	0	0	100%	-98,31%	-98,84%	-98,99%	-99,62%	-97,23%	-96,50%	-98,71%	-99,03%	-96,66%	383,71%	-98,43%	-98,68%
Pouso	23,71%	23,73%	16,15%	33,86%	100%	0	20,24%	25,11%	26,67%	20,11%	35,91%	26,69%	13,50%	39,51%	23,67%	24,52%
Decolagem	-37,18%	-37,23%	-25,32%	-53,11%	0	100%	-31,74%	-39,39%	-41,83%	-31,54%	-56,32%	-41,86%	-21,17%	-61,97%	-37,13%	-38,47%
Fuselagem	24,41%	24,46%	15,42%	-19,64%	20,92%	35,19%	100%	0	0	0	0	26,84%	16,10%	-0,16%	24,72%	16,97%
Motor	10,01%	10,14%	-14,00%	-72,99%	11,26%	6,15%	0	100%	0	0	0	10,86%	7,17%	-93,89%	8,87%	37,65%
Radome	4,74%	4,59%	34,01%	85,99%	7,25%	-3,01%	0	0	100%	0	0	-0,42%	22,33%	123,03%	5,76%	-20,13%
Para-brisa	-34,76%	-34,79%	-34,08%	46,62%	-36,65%	-28,90%	0	0	0	100%	0	-33,35%	-39,58%	-2,77%	-33,62%	-62,18%
Asa	-59,04%	-59,08%	-49,01%	-66,11%	-55,01%	-71,52%	0	0	0	0	100%	-56,89%	-66,41%	-90,41%	-61,89%	9,81%
Até 80kt	16,27%	16,60%	-61,70%	-27,62%	19,07%	7,62%	18,55%	17,16%	10,55%	18,78%	22,39%	100%	0	0	16,25%	16,87%
80 a 200kt	-28,44%	-29,13%	134,35%	53,62%	-34,35%	-10,20%	-33,22%	-30,29%	-16,42%	-33,73%	-41,31%	0	100%	0	-28,39%	-29,70%
Maior 200kt	-99,43%	-99,59%	-75,01%	77,84%	-99,35%	-99,65%	-99,54%	-99,97%	-98,78%	-99,15%	-99,87%	0	0	100%	-99,42%	-99,54%
Até 1500gr	0,26%	0,26%	0,32%	0,88%	0,23%	0,34%	0,51%	-0,78%	1,24%	2,00%	-6,70%	0,24%	0,33%	1,06%	100%	0
Maior 1500gr	-5,85%	-5,84%	-7,37%	-20,05%	-5,23%	-7,77%	-11,48%	17,80%	-28,21%	-45,43%	152,45%	-5,37%	-7,50%	-24,01%	0	100%
Uma	0,50%	0,50%	1,15%	3,76%	1,07%	-1,25%	1,91%	-1,72%	0,78%	1,96%	-3,11%	1,18%	-1,82%	5,78%	0,53%	-0,16%
Duas ou mais	-6,25%	-6,21%	-14,34%	-46,69%	-13,30%	15,52%	-23,74%	21,35%	-9,75%	-24,35%	38,63%	-14,68%	22,61%	-71,73%	-6,59%	1,97%
Céu Claro	0,05%	0,05%	0,13%	0,41%	0,12%	-0,14%	0,21%	-0,19%	0,09%	0,21%	-0,34%	0,13%	-0,20%	0,63%	0,06%	-0,02%
Poucas Nuvens	-0,10%	-0,10%	-0,23%	-0,76%	-0,21%	0,25%	-0,38%	0,35%	-0,16%	-0,40%	0,62%	-0,24%	0,36%	-1,16%	-0,11%	0,03%
Encoberto	-0,10%	-0,10%	-0,23%	-0,73%	-0,21%	0,24%	-0,37%	0,32%	-0,15%	-0,38%	0,59%	-0,23%	0,35%	-1,11%	-0,10%	0,03%
Dia	-0,09%	-0,09%	-0,21%	-0,68%	-0,20%	0,23%	-0,35%	0,31%	-0,14%	-0,36%	0,57%	-0,21%	0,33%	-1,05%	-0,10%	0,03%
Noite	0,13%	0,13%	0,30%	0,98%	0,28%	-0,33%	0,50%	-0,45%	0,20%	0,51%	-0,81%	0,31%	-0,48%	1,51%	0,14%	-0,04%

- Evidência nas fases de pouso com análise do impacto dos estados do nó altura e vice-versa;
- Evidência nas fases de pouso com análise do impacto dos estados do nó parte atingida e vice-versa;
- Evidência nas fases de pouso com análise do impacto dos estados do nó velocidade e vice-versa;
- Evidência nas faixas de massa da espécie com análise do impacto dos estados do nó altura e vice-versa;
- Evidência nas faixas de massa da espécie com análise do impacto dos estados do nó parte atingida e vice-versa;

Com evidência de colisão nas fases de pouso e decolagem, alturas até 500 pés são mais críticas com impacto superior a 8%. Por outro lado, se a evidência de colisão estiver para cada faixa de altura considerada, a fase de pouso é a que apresenta maior impacto. Logo, aeronaves em fase de pouso até 500 pés de altura apresentam maior probabilidade de colisão com ave. Os valores referentes a estas observações estão na cor verde da Tabela 4.23.

Por fim, destaca-se os valores que foram circulados pela cor azul na Tabela 4.23. Nos cenários em que foi inserido evidência de colisão em fase de pouso ou decolagem, em ambos, o estado referente a velocidades de ‘até 80 nós’ é o mais crítico. Todavia, se inserido evidência de colisão para cada faixa de velocidade considerada no estudo, a fase de pouso é mais crítica, com 26,69% de impacto ‘até 80 nós’; 13,50% ‘de 80 a 200 nós’ e impacto de 39,51% para velocidades acima de 200 nós.

5 CONCLUSÕES

Com o intuito de quantificar o impacto dos principais fatores contribuintes que envolvem colisões aves na aviação comercial em procedimentos de pouso e decolagem, este estudo desenvolveu um modelo de acidente para a aviação capaz de obter os fatores críticos relacionados à operação considerando-os dentro das categorias ambiente, aves e aeronaves. O método de redes bayesianas foi utilizado para modelagem e quantificação das probabilidades condicionais. A aplicação do modelo utilizando as redes bayesianas permitiu uma análise detalhada dos impactos dos fatores e seus estados identificando os que influenciam a ocorrência de colisão entre ave e aeronave.

O levantamento dos fatores contribuintes realizadas por meio da literatura, científica e normativa, foi fundamental na obtenção da informação primária à construção do modelo de acidente. Os fatores envolvidos nas colisões com aves levantados da literatura e utilizados como nós no modelo foram: (i) horário, ou seja, hora em que ocorre o evento; (ii) cobertura de nuvens, referente as condições do céu; (iii) comportamento das aves em relação à sua formação em voo, se solitário ou em bando; (iv) massa da espécie envolvida; (v) fase de voo, (vi) altura AGL e (vii) velocidade da aeronave em que se deu a ocorrência e a (viii) parte da aeronave que foi atingida.

Na construção da Rede Bayesiana do Modelo de Acidente por colisão com aves, foram definidos quatro categorias pelas quais os fatores considerados se relacionam: ambiente, aves, aeronaves e evento. O ‘ambiente’ é a categoria que delimita fatores do ambiente externo (horário e cobertura de nuvens) e a categoria ‘aves’ a fauna aviária (massa da espécie e comportamento da espécie). Apesar de se encontrarem no ambiente, os fatores ambientais influenciam diretamente as condições de presença e comportamento de aves, assim a relação de influência de ambiente e aves é direta. Por fim, a categoria aeronaves delimita condições específicas de operações de aeronaves (fase de voo, altura AGL, velocidade e partes atingidas da aeronave).

Foram utilizados dados estatísticos sobre colisões entre aves e aeronaves comerciais no Brasil de 2011 a 2021 como referência para preencher as Tabelas de Probabilidade Condicionais (TPCs) do modelo, para que, deste modo, possam refletir a realidade brasileira. Sobre os dados, destaca-se que foram consideradas 15.033 colisões entre aves e aeronaves comerciais informadas nos reportes ao CENIPA e, os aeroportos de Guarulhos - SP, Porto Alegre - RS, Viracopos - SP, Galeão - RJ e Brasília - DF, são nesta ordem, os que apresentaram a maior quantidade de colisões.

Em resposta às TPCs, foram observadas as probabilidades de ocorrer o evento e as probabilidades de cada estado dos nós (fatores) do modelo nos cenários com e sem evidência de colisões com aves no Brasil. Do cenário sem evidências, partindo dos dados estatísticos do cenário brasileiro, o modelo estimou probabilidade de 2,6293E-05 de ocorrer uma colisão com ave.

Na sequência, a partir do modelo, foi avaliado o impacto de cada estado, que mostra o aumento da probabilidade de ocorrer, medido pela razão entre o cenário com a evidência e o sem evidência. Os estados que apresentaram os maiores impactos são: (1º) fuselagem atingida na colisão; (2º) colisão na fase de pouso; (3º) colisão até 80 nós de velocidade; (4º) motor atingido na colisão; (5º) colisão até 500 pés de altura; (6º) radome atingido na colisão; (7º) uma ave atingida; (8º) ave de até 1.500 gramas atingida; (9º) colisão durante a noite; e, (10º) colisão em condições de céu claro.

Este resultado indica que, quando há a evidência da colisão com ave, estes estados exercem maior impacto no modelo, ou seja, aumentam a probabilidade desses estados contribuírem com o evento colisão, dado que o mesmo ocorreu. Sendo assim, o cenário com maior sensibilidade para que o evento ocorra, envolve a fase de pouso, aeronave com até 500 pés de altura e 80 nós de velocidade, envolvendo uma ave de até 1.500 gramas, durante a noite com céu claro, com maior possibilidade de atingir fuselagem, motor ou radome.

Foram avaliados na sequência, 15 outros cenários, cada um simulando evidência de um estado dos nós ‘Altura AGL’; ‘Fase de voo’; ‘Velocidade’; ‘Parte Atingida’ e ‘Massa da Espécie’. Do comparativo geral de todos os cenários com evidências simuladas, destacam-se que os piores cenários envolvem colisão com ave em velocidades acima de 200 nós acima de 500 pés de altura e colisões com ave com massa corporal superior a 1.500 gramas que atinge a asa da aeronave. Importante destacar que, para todas as evidências inseridas no Modelo de Acidente, a fase de pouso se destaca como fase mais crítica. A parte atingida com maior impacto de ocorrer é a fuselagem, independentemente da evidência de fase de voo considerada. Outros estados que se destacam nas análises são altura até 500 pés, velocidade até 80 nós e aves com até 1.500 gramas.

Por fim, ressalta-se que os resultados encontrados são relevantes para o contexto da aviação que apresenta crescimento do transporte aéreo e do ponto de vista de que as ocorrências envolvendo aves e aeronaves são um dos mais repetitivos na aviação. Os resultados encontrados podem contribuir com o processo de gerenciamento de risco realizado pelos órgãos de interesse, sejam operadores aeroportuários, agências de aviação civil, centro de investigação de acidentes, companhias aéreas, institutos de pesquisa, entre outros.

5.1 LIMITAÇÕES E RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

- No estudo foram considerados dados de colisão do Brasil todo, portanto, análise generalista de todo o território nacional. Deste modo, podem não representar fielmente a realidade específica de uma determinada região. Logo, a depender destas condições, outros dados podem ser relevantes e necessitarem de coleta *in loco*;
- Expandir a análise para aeronaves da aviação geral e/ou pequeno porte bem como aeronaves militares e realizar comparação posterior dos impactos. Deste modo, seria possível se realizar análise dos impactos e ainda, comparativo entre os tipo de operação e suas especificidades individuais;
- Um dos fatores contribuintes encontrados na literatura (OLIVEIRA, 2017), refere-se ao uso do solo no que tange à concentração de pessoas nas imediações do aeródromo como ponto influência para a presença de aves nas imediações das operações. Devido à limitação dos dados este fator não foi explorado. Como incremento desta pesquisa, este fator pode ser investigado com levantamento de dados em campo e especialmente com vista a obtenção de dados para preencher as TPCs. Deste modo, seriam obtidas probabilidades para este fator e seu impacto com grau de influência para a ocorrência de uma colisão;
- Por fim, o modelo de acidente pode ser utilizado para se avaliar as condições de uma aeródromo específico atuando com aliado e nova ferramenta ao processo de gerenciamento de risco aviário. Destaca-se também o Modelo de Acidente como ferramenta de análise para os demais atores, a exemplo das companhias aéreas que o podem utilizar como medida de apoio no gerenciamento de segurança operacional bem como, na prevenção de acidentes e custos decorrentes.

REFERÊNCIAS

- ABEAR. **Panorama 2020: O setor aéreo em dados e análises**. Associação Brasileira das Empresas Aéreas, 2021. Disponível em: <<https://www.abear.com.br/wp-content/uploads/2021/08/Panorama2020-vf.pdf>>. Acesso em: 9 ago. 2022
- ABEAR. **Voar por mais Brasil: Os benefícios da aviação nos estados**. Associação Brasileira das Empresas Aéreas, 2016. Disponível em: <https://abear.com.br/wp-content/uploads/2019/03/ABEAR_VoarPorMaisBrasil_2016.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2022.
- ALLAN, J. A heuristic risk assessment technique for birdstrike management at airports. **Risk Analysis**, v. 26, n. 3, p. 723–729, 2006.
- ALLAN, J.; BAXTER, A.; CALLABY, R. The impact of variation in reporting practices on the validity of recommended birdstrike risk assessment processes for aerodromes. **Journal of Air Transport Management**, v. 57, p. 101–106, 2016.
- ANAC. **Instrução Suplementar - IS Nº 153.503-001 A**. Brasília. Agência Nacional de Aviação Civil, 29 mar. 2021b.
- ANAC. **Lista preliminar de Perigos - Referência para Aeroportos Classe I-B**. Agência Nacional de Aviação Civil: Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária - SIA, 2018.
- ANAC. **Painel de Indicadores do Transporte Aéreo 2020**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/painel-de-indicadores-do-transporte-aereo/painel-de-indicadores-do-transporte-aereo-2020>>. Acesso em: 10 ago. 2022a.
- ARA-SOUZA, A. L. **Redes Bayesianas: Uma introdução aplicada a credit scoring**. Dissertação (Iniciação Científica) — São Carlos: Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação – referências - elaboração. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: informação e documentação – citações em documentos – apresentação. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- AZABACHE-REQUENA, J. A.; MARCIAL-RAMOS, R. Análisis de peligro aviario en el Aeropuerto Guillermo Concha Iberico, Piura, Perú. **Boletín UNOP**, v. 14, p. 19–28, 2019.
- BANDEIRA, M. C. G. DA S. P. **Modelo de acidente de saída de pista em pouso de aeronaves de médio e grande portes**. 2018. Tese (Doutorado em Transporte Aéreo e Aeroportos) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2018.
- BANDEIRA, M. C. G. S. P.; CORREIA, A. R.; MARTINS, M. R. General model analysis of aeronautical accidents involving human and organizational factors. **Journal of Air Transport Management**, v. 69, p. 137–146, 1 jun. 2018.
- BANDEIRA, M. C. G. S. P.; CORREIA, A. R.; MARTINS, M. R. Method for measuring factors that affect the performance of pilots. **TRANSPORTES**, v. 25, n. 2, p. 156–169, 31 ago. 2017.

- BLOKPOEL, H. **Bird hazards to aircraft: problems and prevention of bird/aircraft collisions**. [s.l.] Clarke, Irwin & Co, 1976.
- CARDOSO, C. O. *et al.* Risco de colisão de aves com aeronaves no Aeroporto Internacional de Parnaíba, Piauí, Brasil. **Ornitologia Neotropical**, v. 25, p. 179–193, 2014.
- CENIPA. **Anuário de Risco de Fauna - 2021**. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Brasília, 2022.
- CENIPA. **Anuário de Risco de Fauna 2011-2020**. SANTOS, L. C. B.; SOUZA, M. D. S. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Brasília, 2021.
- CENIPA. **Anuário de Risco de Fauna 2022**. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Brasília, 2023.
- CENIPA. **MCA 3-8: Manual de gerenciamento de risco de fauna**. Comando da Aeronáutica. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Brasília, 2017.
- CENIPA. **PCA 3-3: Plano básico de gerenciamento de risco de fauna**. Brasília. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. Comando da Aeronáutica. Assessoria de Gerenciamento de Risco de Fauna, , 2020.
- CLEARY, E. C.; DOLBEER, R. A. **Wildlife Hazard Management at Airports - A Manual for Airport Personnel**. Federal Aviation Administration, 2005. Disponível em: <https://www.faa.gov/airports/airport_safety/wildlife/resources/media/2005_FAA_Manual_complete.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2022.
- CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 466/2015**, de 05 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=685>. Acesso em: 4 ago. 2022.
- DEVORE, J. L. **Probabilidade e Estatística: para Engenharia e Ciências**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2006.
- DOLBEER, R. A. Birds and aircraft: fighting for airspace in crowded skies. **Proceedings of the Vertebrate Pest Conference**, v. 19, n. 19, 2000.
- DOLBEER, R. A. *et al.* **Wildlife Strikes to Civil Aircraft in the United States, 1990–2021**. Washington, DC Federal Aviation Administration, , jun. 2022. Disponível em: <https://www.faa.gov/airports/airport_safety/wildlife/media/Wildlife-Strike-Report-1990-2021.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2022
- DOLBEER, R. A. Height Distribution of Birds Recorded by Collisions with Civil Aircraft. **Journal of Wildlife Management**, v. 70, n. 5, p. 1345–1350, 1 dez. 2006.
- EPL; ONTL. **Boletim de Logística: A importância do transporte aéreo para o Brasil**. Empresa de Planejamento e Logística S.A.; Observatório Nacional de Transporte e Logística, 2022. Disponível em: <<https://ontl.epl.gov.br/publicacoes/boletins-de-logistica/>>. Acesso em: 9 ago. 2022.

- GHAZAOUI, A. *et al.* Mathematical modeling of aircraft bird strikes and optimal control strategies. **International Journal of Dynamics and Control**, 2022.
- GUEDES, F. L. *et al.* **Relação entre aterro sanitário e risco aviário: estudo de caso no Aeroporto Internacional de Recife - PE.** (R. F. de Santana, W. R. Aragão Júnior, S. G. El-Deir, Eds.)VI Congresso Brasileiro de Resíduos Sólidos. **Anais...**Recife: EDUFRPE: Gampe/ UFRPE, 2020. Disponível em: <<https://www.epersol.com.br/>>. Acesso em: 20 Jul. 2022
- HECKERMAN, D. **A Tutorial on Learning with Bayesian Networks.** Redmond, WA Technical Report MSR-TR-95-06, Microsoft Corporation, 1996.
- ICAO. **Annex 14 Aerodromes - Volume I Aerodrome Design and Operations.** Jul. 2004.
- ICAO. **Wildlife Control and Reduction. Airport Services Manual, Part 3. Doc 9137,** 2012. Disponível em: <<http://www.birdstrike.org/wp-content/uploads/2014/10/ICAO-AirportServicesManual-Part3-FourthEdition-2012.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2022
- JEFFERY, R. F.; BUSCHKE, F. T. Urbanization Around an Airfield Alters Bird Community Composition, but not the Hazard of Bird-Aircraft Collision. **Environmental Conservation**, v. 46, n. 2, p. 124–131, 1 jun. 2018.
- KRIEG, M. L. **A Tutorial on Bayesian Belief Networks.** 1. ed. Edinburgh, South Australia, Australia 5111: DSTO Electronics and Surveillance Research Laboratory, 2001.
- LABTRANS. **Evolução anual da movimentação de aeronave.** Disponível em: <<https://horus.labtrans.ufsc.br/gerencial/?auth=s#Movimentacao/Evolucao>>. Acesso em: 23 ago. 2022.
- LINNELL, M. A.; CONOVER, M. R.; OHASHI, T. Biases in bird strike statistics based on pilot reports. **Journal of Wildlife Management**, v. 63, p. 997–1003, 1999.
- LINNELL, M. A.; CONOVER, M. R.; OHASHI, T. J. Analysis of Bird Strikes at a Tropical Airport. **Source: The Journal of Wildlife Management**, v. 60, n. 4, p. 935–945, 1996.
- NICHOLSON, R.; REED, W. S. Strategies for Prevention of Bird-Strike Events. **Aero Quarterly**, v. 3, n. 11, p. 17–24, 2011.
- NIMMAGADDA, S. *et al.* **Predicting airline crash due to birds strike using machine learning.** International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS). **Anais...**IEEE Computer Society, 2020.
- NORSYS. **Introduction to Bayes Nets.** Norsys Software Corp. Canadá, 2022. Disponível em: <https://www.norsys.com/tutorials/netica/nt_toc_A.htm>. Acesso em: 27 ago. 2023.
- OLIVEIRA, H. R. B. *et al.* **Colisões com fauna significativas registradas no Brasil até dezembro 2016. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos.** Brasília, 2017. Disponível em: <http://sistema.cenipa.aer.mil.br/cenipa/Anexos/Colisoes_com_fauna_significativas_no_Brasil_ate_2016.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2022.

- OLIVEIRA, H. R. B. **Metodologia de Avaliação Operacional de Risco de Fauna**. Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA). Brasília, 2017.
- OLIVEIRA, J. C. DE. **Análise de cenários de acidentes aéreos utilizando redes bayesianas baseadas em especialistas**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2018.
- SCHUMACHER, L. N.; HENKES, J. A. Uma análise sobre o risco aviário na aviação brasileira. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 906–926, 2020.
- SHAW, P.; MCKEE, J. Risk Assessment: quantifying aircraft and bird susceptibility to strike. In: **Proceedings of the International Bird Strike Committee Meeting**, 2008. Disponível em: <https://www.worldbirdstrike.com/images/Resources/IBSC_Documents_Presentations/Brasil/IBSC28_WP01.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2022
- SOLDATINI, C. *et al.* An ecological approach to birdstrike risk analysis. **European Journal of Wildlife Research**, v. 56, n. 4, p. 623–632, 2010.
- ZAKRAJSEK, E. J.; BISSONETTE, J. A. Ranking the risk of wildlife species hazardous to military aircraft. **Wildlife Society Bulletin**, v. 33, n. 1, p. 258–264, abr. 2005.

APÊNDICE A – TPCS DA RB DO MODELO DE ACIDENTE DE AERONAVES POR COLISÃO COM AVES NA AVIAÇÃO COMERCIAL

Tabela A.1. TPC para o nó Massa da Espécie.

ATE 1500 GR	MAIOR 1500 GR
0,957884	0,0421158

Tabela A.2. TPC para o nó Horário.

DIA	NOITE
0,589104	0,410896

Tabela A.3. TPC para o nó Cobertura de Nuvens.

CEU CLARO	POUCAS NUVENS	ENCOBERTO
0,644699	0,237416	0,117885

Tabela A.4. TPC para o nó Comportamento da Espécie.

UMA	DUAS OU MAIS	HORARIO	COBERTURA_NUVENS
0,917870	0,082130	DIA	CEU CLARO
0,901393	0,098607	DIA	POUCAS NUVENS
0,900478	0,099522	DIA	ENCOBERTO
0,956173	0,043827	NOITE	CEU CLARO
0,923626	0,076374	NOITE	POUCAS NUVENS
0,926554	0,073446	NOITE	ENCOBERTO

Tabela A.5. TPC para o nó Fase de Voo.

POUSO	DECOLAGEM	COMP_DA_ESPECIE
0,616096	0,383904	UMA
0,543184	0,456816	DUAS OU MAIS

Tabela A.6. TPC para o nó Parte Atingida.

FUSELA- GEM	MOTOR	RADOME	PARA-BRISA	ASA	COMP_DA_ES- PECIE	MASSA_ES- PECIE
0,284474	0,230000	0,251447	0,158421	0,075658	UMA	ATE 1500 GR
0,241379	0,273834	0,180527	0,087221	0,217039	UMA	MAIOR 1500 GR
0,217064	0,298620	0,234630	0,124216	0,125471	DUAS OU MAIS	ATE 1500 GR
0,310345	0,344828	0,137931	0,034483	0,172414	DUAS OU MAIS	MAIOR 1500 GR

Tabela A.7. TPC para o nó Velocidade.

ATE 80	DE 80 A 200	MAIOR 200	COMP_DA_ESPECIE
0,671177	0,309368	0,019456	UMA
0,595025	0,398010	0,006965	DUAS OU MAIS

Tabela A.8. TPC para o nó Altura AGL.

ATE 500 FT	DE 500 A 3500 FT	MAIOR QUE 3500 FT	COMP_DA_ESPECIE
0,914728	0,062962	0,022310	UMA
0,938916	0,048276	0,012808	DUAS OU MAIS

Tabela A.9. TPC para o nó Evento – Colisão com Ave.

OCORRE	NÃO OCORRE	FASE_VOO	ALTURA_AGL	VELOCIDADE	PARTE_ATINGIDA
5,118363E-05	9,999488E-01	POUSO	ATE 500 FT	ATE 80	FUSELAGEM
4,857000E-05	9,999514E-01	POUSO	ATE 500 FT	ATE 80	MOTOR
4,274378E-05	9,999573E-01	POUSO	ATE 500 FT	ATE 80	RADOME
2,733424E-05	9,999727E-01	POUSO	ATE 500 FT	ATE 80	PARA-BRISA
1,982004E-05	9,999802E-01	POUSO	ATE 500 FT	ATE 80	ASA
2,722534E-05	9,999728E-01	POUSO	ATE 500 FT	DE 80 A 200	FUSELAGEM
2,259703E-05	9,999774E-01	POUSO	ATE 500 FT	DE 80 A 200	MOTOR
2,973007E-05	9,999703E-01	POUSO	ATE 500 FT	DE 80 A 200	RADOME
1,306816E-05	9,999869E-01	POUSO	ATE 500 FT	DE 80 A 200	PARA-BRISA
8,766558E-06	9,999912E-01	POUSO	ATE 500 FT	DE 80 A 200	ASA
1,633520E-07	9,999998E-01	POUSO	ATE 500 FT	MAIOR 200	FUSELAGEM
0	1	POUSO	ATE 500 FT	MAIOR 200	MOTOR
4,900561E-07	9,999995E-01	POUSO	ATE 500 FT	MAIOR 200	RADOME
1,633520E-07	9,999998E-01	POUSO	ATE 500 FT	MAIOR 200	PARA-BRISA
0	1	POUSO	ATE 500 FT	MAIOR 200	ASA
8,712108E-07	9,999991E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	FUSELAGEM
4,900561E-07	9,999995E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	MOTOR
9,256614E-07	9,999991E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	RADOME
7,078587E-07	9,999993E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	PARA-BRISA
4,900561E-07	9,999995E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	ASA
5,118363E-06	9,999949E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	FUSELAGEM
4,737209E-06	9,999953E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	MOTOR
6,044025E-06	9,999940E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	RADOME
3,049238E-06	9,999970E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	PARA-BRISA
2,885886E-06	9,999971E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	ASA
3,811547E-07	9,999996E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	FUSELAGEM
1,089013E-07	9,999999E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	MOTOR
3,267040E-07	9,999997E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	RADOME
1,633520E-07	9,999998E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	PARA-BRISA
2,722534E-07	9,999997E-01	POUSO	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	ASA
3,267040E-07	9,999997E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	FUSELAGEM
1,089013E-07	9,999999E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	MOTOR
9,256614E-07	9,999991E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	RADOME
2,178027E-07	9,999998E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	PARA-BRISA
5,445067E-08	9,999999E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	ASA
9,256614E-07	9,999991E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	FUSELAGEM
3,267040E-07	9,999997E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	MOTOR
1,252365E-06	9,999987E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	RADOME
1,197915E-06	9,999988E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	PARA-BRISA
5,989574E-07	9,999994E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	ASA
7,078587E-07	9,999993E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	FUSELAGEM
3,811547E-07	9,999996E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	MOTOR
1,034563E-06	9,999990E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	RADOME
1,034563E-06	9,999990E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	PARA-BRISA
3,267040E-07	9,999997E-01	POUSO	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	ASA
2,776984E-05	9,999722E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	ATE 80	FUSELAGEM
1,862213E-05	9,999814E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	ATE 80	MOTOR
1,796872E-05	9,999820E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	ATE 80	RADOME

1,355822E-05	9,999864E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	ATE 80	PARA-BRISA
6,479630E-06	9,999935E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	ATE 80	ASA
1,791427E-05	9,999821E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	DE 80 A 200	FUSELAGEM
1,960224E-05	9,999804E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	DE 80 A 200	MOTOR
1,731531E-05	9,999827E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	DE 80 A 200	RADOME
1,083568E-05	9,999892E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	DE 80 A 200	PARA-BRISA
3,430392E-06	9,999966E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	DE 80 A 200	ASA
3,811547E-07	9,999996E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	MAIOR 200	FUSELAGEM
1,089013E-07	9,999999E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	MAIOR 200	MOTOR
3,811547E-07	9,999996E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	MAIOR 200	RADOME
3,811547E-07	9,999996E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	MAIOR 200	PARA-BRISA
5,445067E-08	9,999999E-01	DECOLAGEM	ATE 500 FT	MAIOR 200	ASA
7,078587E-07	9,999993E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	FUSELAGEM
2,722534E-07	9,999997E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	MOTOR
8,712108E-07	9,999991E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	RADOME
4,900561E-07	9,999995E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	PARA-BRISA
2,722534E-07	9,999997E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	ATE 80	ASA
2,831435E-06	9,999972E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	FUSELAGEM
2,994787E-06	9,999970E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	MOTOR
3,648195E-06	9,999964E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	RADOME
1,960224E-06	9,999980E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	PARA-BRISA
1,089013E-06	9,999989E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	DE 80 A 200	ASA
8,167601E-07	9,999992E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	FUSELAGEM
4,356054E-07	9,999996E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	MOTOR
8,167601E-07	9,999992E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	RADOME
6,534081E-07	9,999993E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	PARA-BRISA
4,900561E-07	9,999995E-01	DECOLAGEM	DE 500 A 3500 FT	MAIOR 200	ASA
3,811547E-07	9,999996E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	FUSELAGEM
5,445067E-08	9,999999E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	MOTOR
1,089013E-07	9,999999E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	RADOME
5,445067E-07	9,999995E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	PARA-BRISA
1,089013E-07	9,999999E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	ATE 80	ASA
3,267040E-07	9,999997E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	FUSELAGEM
3,811547E-07	9,999996E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	MOTOR
6,534081E-07	9,999993E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	RADOME
2,722534E-07	9,999997E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	PARA-BRISA
1,633520E-07	9,999998E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	DE 80 A 200	ASA
1,252365E-06	9,999987E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	FUSELAGEM
4,900561E-07	9,999995E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	MOTOR
1,306816E-06	9,999987E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	RADOME
1,306816E-06	9,999987E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	PARA-BRISA
2,178027E-07	9,999998E-01	DECOLAGEM	MAIOR QUE 3500 FT	MAIOR 200	ASA