XXI SITRAER
2024 | Air Transportation Symposium

ANÁLISE DO RISCO ASSOCIADO AOS BALÕES LIVRES NÃO TRIPULADOS NO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO

Ary Marcos Alvarenga de Castro Braz
Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira*
Engenharia de Transportes, Laboratório de Inteligência e Inovação em Transportes (LI2T), Faculdade de Ciências e Tecnologia (FCT), Universidade Federal de Goiás (UFG)

*** Corresponding author e-mail address**: michelle.galvao@ufg.br

PAPER ID: SIT904942

Abstract

This study assesses the aviation safety risks in Brazil posed by unmanned free hot balloons, a cultural practice that has become a significant concern for air operations. The methodology involved analyzing CENIPA data on notifications and recorded collisions between 2014 and 2023, using descriptive and statistical approaches, alongside the application of the FAA risk matrix to assess the probability and severity of collisions. The results reveal a high concentration of notifications in the states of São Paulo, Rio de Janeiro, and Paraná, with a focus on the airports of Guarulhos, Galeão, Santos Dumont, Curitiba, Viracopos, Congonhas, and Campo de Marte. The final risk analysis indicated that Guarulhos and Galeão airports present the highest collision risks, while Santos Dumont, despite not recording collisions, requires attention due to the high number of notifications. Additionally, Viracopos and Congonhas showed moderate risks, and Campo de Marte, assessed using the general aviation risk matrix, exhibited a high risk for smaller aircraft. Pearson's correlation (0.9157) between the number of notifications and collisions suggests that increased notifications are associated with a higher risk of collision. The study concludes with an urgent call for stricter regulations and preventive measures, emphasizing the need for new technologies to mitigate risks to Brazilian airspace.

Keywords: Risk Matrix, Unmanned Free Hot Balloons, Operational Safety, Aviation.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), concedido na modalidade "Iniciação Tecnológica – ITC-A", Processo CNPq/MCTI/SEMPI: 408320/2022-2, para o desenvolvimento deste estudo.

1. INTRODUÇÃO

A colonização portuguesa introduziu no Brasil, a partir do século XVI, elementos culturais europeus que, conforme Fernandes (2023), foram assimilados pela Igreja Católica, substituindo cultos pagãos por homenagens aos santos. Mesclaram-se a essas tradições europeias características indígenas e africanas. A soltura de balões, incorporada às festividades, simboliza pedidos aos santos (RANGEL, 2008). Com o tempo, essa prática cultural passou a dividir o espaço aéreo com aeronaves, tornando-se uma preocupação crescente para autoridades e operadores aéreos.

Apesar da associação ao balão junino lúdico, pequeno, singelo e quase inofensivo, os balões livres não tripulados que constantemente são avistados pelo espaço aéreo brasileiro, podem apresentar de 15 a 30 metros, segundo o Manual de Orientação da Secretaria de Aviação Civil (SAC). Há registro de balões livres com até 100 m de comprimento que podem transportar imensas bandeiras, faixas, banners e armações contendo dezenas de quilos de explosivos; como o registrado em 2013, contendo uma bucha para combustão pesando 195 kg (BRASIL, 2016).

O crescente número de registros de avistamento de balões livres próximos a sítios aeroportuários reflete as frequentes notícias de incidentes, como no dia 14 de maio de 2023, quando um balão em chamas caiu sobre um avião estacionado no momento do abastecimento da aeronave no aeroporto Santos Dumont (MONTEIRO, 2023). Outro incidente grave ocorreu em 17 de junho de 2011, quando um Airbus A319 colidiu com um banner de propaganda suspenso por um balão, comprometendo seus sistemas automáticos, o Tubo de Pitot e o Total Air Temperature Sensor (TAT sensor), forçando a tripulação a seguir o voo em condição conhecida como *Unreliable Speed,* ou seja com velocidade não confiável (CENIPA, 2013). Considerando a altitude média dos balões (10 mil pés) e a velocidade das aeronaves (150 a 250 kt, equivalente a 270 a 450 km/h) e ainda, considerando o peso do obstáculo, tem-se que a colisão pode gerar uma força de 2,26 toneladas para balões de 10 quilos, até uma força de 100 toneladas para balões de 50 quilos (CENIPA, 2013).

No dia 7 de maio de 2023, o Controle de Tráfego Aéreo alertou um piloto de jato Embraer E195 sobre um balão com faixa que caiu próximo à cabeceira 20L do Aeroporto Santos Dumont. No mesmo dia, o Aeroporto de Viracopos foi fechado por nove minutos devido ao sobrevoo de sete balões, com dois caindo na área do aeroporto (BASSETO, 2023a). Seis dias antes, balões com faixa foram projetados sobre a cabeceira 33, sendo reportados à torre de controle (BASSETO, 2023b). Em janeiro de 2023, balões não tripulados foram lançados próximos à cabeceira 15, com um atingindo a intersecção das taxiways C e H (BASSETO, 2023c). Incidentes como esses são comuns nas regiões Sudeste e Sul, com São Paulo e Rio de Janeiro responsáveis por 81,29% das notificações.

Segundo o CENIPA (2024), no Brasil foram reportados mais de 900 registros de balões em rotas aéreas. Com a expansão do transporte aéreo, essencial em muitas regiões, é crucial intensificar estudos sobre o tema. A introdução de novos equipamentos, como drones e EVTOLs, aumenta a necessidade de compreender os riscos dos balões não tripulados (HADDAD et al., 2020; EASA, 2021), que afetam principalmente pousos e decolagens (FAA, 2003).

Uma das motivações deste trabalho é o rebaixamento da classificação de segurança do espaço aéreo brasileiro pela International Federation of Air Line Pilots' Association (IFALPA) em abril de 2016 (IFALPA, 2016). A IFALPA classifica aeródromos ou espaços aéreos em três categorias: deficiente, criticamente deficiente (*black star*), e categoria especial. Devido ao constante avistamento de balões e notificações de pilotos, o espaço aéreo brasileiro foi classificado como "*critically deficient*", comparável à de zonas de guerra, o que eleva os custos operacionais (SCHMITT, 2018; AERO MAGAZINE, 2016). Dentro desta abordagem, há consenso de que o risco de colisões com aeronaves tem sido uma preocupação significativa, inclusive para entidades internacionais. Portanto, este trabalho visa avaliar o risco de colisões de balões livres não tripulados em operações aeroportuárias.

2. O RISCO BALOEIRO E O ARCABOUÇO LEGAL NO BRASIL

A prática ilegal de lançamento de balões de ar quente no Brasil representa riscos significativos à segurança da aviação (SCHMITT, 2018; BOYNARD, 2018). Esses balões, com até 105 metros de comprimento e carregando fogos de artifício ou lanternas, ameaçam o tráfego aéreo e levaram ao rebaixamento da classificação de segurança do espaço aéreo brasileiro (SCHMITT, 2018; CRUZ, 2021). A tradição "baloeira", originada em festas católicas, tornou-se uma arte secular e tecnologia insurgente (CRUZ, 2021). Mesmo com a criminalização, milhares de balões são lançados anualmente, elevando o risco de colisões e danos a aeronaves (BOYNARD, 2018; CRUZ, 2021). A questão exige maior conscientização e medidas preventivas para mitigar os riscos associados (SCHMITT, 2018; BOYNARD, 2018).

No Brasil, desde 7 de dezembro de 1940, o Art. 261 do Código Penal prevê pena de 2 a 5 anos para quem expuser a perigo ou dificultar a navegação aérea, e até 12 anos em caso de destruição ou queda da aeronave (BRASIL, 1940). Em 1998, a Lei n° 9605 sancionou sanções penais para condutas nocivas ao meio ambiente, prevendo multa e/ou até 3 anos de reclusão para quem fabricar, vender, transportar ou soltar balões de ar quente (BRASIL, 1998). Adicionalmente, o Código Penal, no Art. 163, prevê multa e/ou reclusão de um a seis meses por dano a propriedade, e no Art. 129, pena de três a doze meses por lesão corporal, podendo chegar a 14 anos em casos de lesão seguida de morte (BRASIL, 2016).

Em novembro de 2016, entra em vigor a segunda modificação da ICA - Instrução do Comando da Aeronáutica 100-12 (BRASIL, 2016), em conformidade com as recomendações da Organização de Aviação Civil Internacional (OACI, do inglês ICAO), produzida pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), órgão do Comando da Aeronáutica (COMAER), visando regulamentar as Regras do Ar à Convenção de Aviação Civil Internacional (CACI). Quanto aos balões livres não tripulados, ICA 100-12 os define como sendo mais leve que o ar, e o seu Anexo B os classificam como: leves, quando possuem uma carga combinada inferior a 4 kg; médios, quando apresentam carga útil com dois ou mais pacotes, e peso entre 4 e 6 kg; ou pesados, nos casos em que carga combinada ultrapasse os seis quilos, incluindo um pacote com três quilos ou mais e um pacote superior a 2 kg, com uma densidade de área superior a 13 g/cm³, e dotado de corda ou dispositivo para suspensão da carga com força igual ou superior a 230 *newtons* (BRASIL, 2013).

A ICA 100-12 veda a soltura de balão sem a aprovação prévia do DECEA, que deve ser requerida junto ao Estado responsável ainda durante a fase de planejamento do voo. A aprovação pode ser para uma série de voos ou para lançamentos periódicos, como balões de pesquisas atmosféricas. É proibida a operação de balões livres quando houver risco de colisão com a superfície ou perigo para pessoas ou propriedades (BRASIL, 2013). Também define as limitações de operação, os requisitos dos equipamentos obrigatórios e orientações para interrupção de voo. Após o lançamento de balões livres não tripulados médios ou pesados, o operador deve notificar o órgão de tráfego aéreo com a identificação do voo, local e hora do lançamento, e estimativas de nível de cruzeiro até 18 mil metros de altura. Balões pesados operando até 60 mil pés devem ter registros a cada duas horas (BRASIL, 2013).

A necessidade de estudos e as lacunas sobre os riscos de balões não tripulados em operações aeroportuárias motiva este trabalho. A literatura atual, em geral, expõe os perigos das ocorrências. Embora a maioria dos avistamentos não causem efeitos nos voos, sabe-se que a incontrolabilidade dos balões aumenta a probabilidade de colisão. Mesmo de baixa densidade, esses artefatos podem causar acidentes devido às velocidades das aeronaves no nível de voo dos balões (CENIPA, 2013).

3. ANÁLISE DE RISCO BALOEIRO NO BRASIL

3.1. Base de Dados

A escassez de estudos sobre o risco de colisão com balões motivou a busca de dados na literatura normativa. Fatores como local da ocorrência, fase de voo e características do balão foram analisados usando fichas de notificações do CENIPA (2024), preenchidas por cidadãos que avistam

balões em rota com aeronaves. Os dados, que incluem variáveis como condições do céu e efeitos sobre o voo, foram analisados em um recorte temporal (2014-2023) e espacial.

3.2. Delimitação Temporal

Apesar da possibilidade de múltiplas notificações de um mesmo balão por diferentes observadores, cada evento foi considerado singular devido às distintas implicações para o espaço aéreo e terrestre. Em casos de colisão, relatos duplicados foram consolidados em um único evento, e informes duplicados ou com erros foram excluídos. Assim, foram tabuladas as ocorrências do banco de dados do CENIPA de 2014 a 2023. O Quadro 1 apresenta o levantamento com aeroportos envovidos, partes atingidas, fase da operação, altitude (em pés) e número de ocorrências.

Quadro 1. Colisões de balões não tripulados com aeronaves. Fonte: CENIPA (2014-2023) adaptado pelos autores.

Ano	ICAO	Parte(s) atingida	Fase de voo da aeronave	Altitude	Ocorrências
2014	SBCT	Asa/rotor	Descida	5.500 ft	01
		Asa/rotor	Aproximação Final	5.500 ft	01
	SBSP	Asa/rotor	Aproximação Final	-	01
	SBGL	Fuselagem	Área de Movimento	Solo	02
	SBGR	Nariz	Decolagem	200 ft	02
		Motor n°1	Pouso	-	01
2015	SBGR	Asa/rotor	Área de Movimento	Solo	03
	SBBU	Radome	Cruzeiro	35.000 ft	01
2016	SBGL	Motor n°2	Decolagem	Solo	01
	SBKP	Fuselagem	Aproximação Final	2.500 ft	02
2017	SBGR	Fuselagem	Subida	7.000 ft	02
	SBSP	Pista de Pouso e Decolagem	-	Solo	01
2018	SBGR	Motor n°1	STAR	2.000 ft	01
		Fuselagem e cauda	Aproximação Final	5.000 ft	01
	SBMT	Outros	Outros	2.370 ft	01
2019	SBCT	Fuselagem, asa/rotor	Área de Movimento	Solo	01
	SBGL	Trem de pouso	Pouso	-	01
2020	SBGR	Fuselagem	Área de Movimento	Solo	01
2021	-	-	-	-	00
2022	SBGR	Fuselagem, asa/rotor e cauda	Área de Movimento	Solo	01
2023	SBGR	Motor n°2	Pouso	500 ft	01

3.3. Delimitação Espacial

Consideraram-se dados de todo o território nacional, tanto para as notificações de ocorrências quanto para a mensuração das quantidades de voos realizados no Brasil e seus recortes regionais. As análises foram limitadas aos principais aeroportos dos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo. Segundo o Relatório de Oferta e Demanda (ANAC, 2023), foi possível estimar o total de decolagens da aviação comercial, somando voos domésticos e internacionais, conforme a Tabela 1. A quantidade de notificação de balões livres não tripulados e de colisões por ano segundo o CENIPA (2024), também foram disponibilizadas neste tabela.

Tabela 1. Quantidade de voos no Brasil. Fonte: ANAC (2014-2023) e CENIPA (2024) adaptado pelos Autores.

Ano	Doméstico	Internacional	Nº de Voos	Nº de Notificações	Nº de Colisões
2014	941.531	135.235	1.076.766	320	08
2015	935.654	136.021	1.071.675	310	04
2016	828.882	126.939	955.821	481	03
2017	805.459	126.803	932.262	717	03
2018	816.009	142.593	958.602	915	03
2019	802.417	137.248	939.665	933	02
2020	406.234	53.999	460.233	592	01
2021	546.540	47.713	594.253	883	00
2022	730.685	93.986	824.671	903	01
2023	789.286	122.040	911.326	836	01
2014-2023	7.602.697	1.122.577	8.725.274	6.890	26

3.4. Tratamento e Análise de Dados

Segundo Lobianco (2012), no intuito de harmonizar o cálculo dos Indicadores Individuais, adotado-se os critérios de movimento operacional definidos da CIRTRAF 100-25 (COMAER, 2004), multiplicando a quantidade de movimentos por 100.000 aeronaves para cada ano civil. O cálculo do Indicador Individual (I) é adimensional e apresentado pela Equação 1:

$$I = \frac{'i'}{n} * 100.000\ movimentos \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Em que: I é o Indicador Individual; i é a quantidade de eventos em um determinado período; e n é a quantidade de voos em um determinado período.

A probabilidade de um evento é calculada como a razão entre o número de casos favoráveis (presença de balão) e o número de casos possíveis (eventos de colisões). A fim de obter uma análise de risco que melhor atendesse os dados levantados, optou-se pela aplicação das recomendações de Safety Risk Management Policy, Order 80.40B (FAA, 2017) que apresenta a ocorrência de um acidente relacionado às suas probabilidades qualitativas e quantitativas. Devido às diferenças nos segmentos do sistema (aviação comercial ou aviação geral, por exemplo), a FAA sugere definições de probabilidade diferentes para operações comerciais (Quadro 2) e operações de aviação geral (Quadro 3); no entanto, as mesmas definições de severidade (Quadro 4) são usadas em ambos.

Quadro 2. Probabilidade para Operações Comerciais/Categoria de Grande Transporte. Fonte: FAA (2017).

CATEGORIA	PROBABILIDADE	QUALITATIVA	QUANTITATIVA
A	Frequente	Esperado que ocorra rotineiramente	Esperado que ocorra mais de 10 vezes por ano
B	Provável	Esperado que ocorra frequentemente	Esperado que ocorra entre uma e 10 vezes por ano
C	Remoto	Esperado que ocorra ocasionalmente	Esperado que ocorra uma vez a cada 1 a 3 anos
D	Extremamente Remoto	Esperado que ocorra raramente	Esperado que ocorra uma vez a cada 3 a 10 anos
E	Extremamente Improvável	Improvável que ocorra, mas não impossível	Esperado que ocorra menos de uma vez a cada 10 anos

Quadro 3. Probabilidade para Aviação Geral/Aeronaves Pequenas e Asas Rotativas. Fonte: FAA (2017).

CATEGORIA	PROBABILIDADE	QUALITATIVA	QUANTITATIVA
A	Frequente	Esperado que ocorra rotineiramente	Esperado que ocorra mais de 100 vezes por ano (ou mais de aproximadamente 10 vezes por mês)
B	Provável	Esperado que ocorra frequentemente	Esperado que ocorra entre 10 e 100 vezes por ano (ou aproximadamente 1-10 vezes por mês)
C	Remoto	Esperado que ocorra ocasionalmente	Esperado que ocorra uma vez a cada 1 mês a 1 ano
D	Extremamente Remoto	Esperado que ocorra raramente	Esperado que ocorra uma vez a cada 1 a 10 anos
E	Extremamente Improvável	Improvável que ocorra, mas não impossível	Esperado que ocorra menos de uma vez a cada 10 anos

Quadro 4. Definição de Severidade. Fonte: FAA (2017) adaptado pelos autores.

1	2	3	4	5
Catastrófico	**Grave**	**Maior**	**Menor**	**Mínimo**
Múltiplas fatalidades (ou fatalidade de todos a bordo) geralmente com a perda da aeronave/veículo	Múltiplas lesões graves; lesão fatal para um número relativamente pequeno de pessoas (uma ou duas); ou uma perda total do casco sem fatalidades e/ou incêndios	Sofrimento físico ou lesões em pessoas; partes de aeronaves atingidas; para aeronaves e/operações ações de manobras evasivas; arremetidas ou interrupções em decolagens	Desconforto físico para pessoas; aeroportos temporariamente fechados e/ou operações interrompidas temporariamente	Efeito insignificante na segurança; alerta no aeroporto sem interupções nas operações

Ressalta-se ainda que, ao desenvolver definições de probabilidade específicas, deve-se considerar o número de aeronaves operando em áreas de notificação ou o tamanho do sistema que se

deseja analisar (Estado ou aeroporto, por exemplos) e garantir que eles estejam alinhados com as definições qualitativas listadas nos quadros supracitados.

Uma matriz de risco é um método gráfico utilizado para representar o risco de segurança, com colunas que refletem as categorias de severidade e linhas que representam as categorias de probabilidade. A FAA utiliza diferentes matrizes de risco para distintos segmentos operacionais. O Quadro 5a aborda operações comerciais de grande transporte, enquanto o Quadro 5b foca na aviação geral, que é o caso dos aeroportos de Bauru (SBBU) e Campo de Marte (SBMT), facilitando a avaliação de riscos conforme particularidades de cada segmento.

(a)

Likelihood \ Severity	Minimal 5	Minor 4	Major 3	Hazardous 2	Catastrophic 1
Frequent A	[Green]	[Yellow]	[Red]	[Red]	[Red]
Probable B	[Green]	[Yellow]	[Red]	[Red]	[Red]
Remote C	[Green]	[Yellow]	[Yellow]	[Red]	[Red]
Extremely Remote D	[Green]	[Green]	[Yellow]	[Yellow]	[Red]
Extremely Improbable E	[Green]	[Green]	[Green]	[Yellow]	[Red] * / [Yellow]

(b)

Likelihood \ Severity	Minimal 5	Minor 4	Major 3	Hazardous 2	Catastrophic 1
Frequent A	[Green]	[Yellow]	[Red]	[Red]	[Red]
Probable B	[Green]	[Yellow]	[Yellow]	[Red]	[Red]
Remote C	[Green]	[Green]	[Yellow]	[Yellow]	[Red]
Extremely Remote D	[Green]	[Green]	[Green]	[Yellow]	[Red] * / [Yellow]
Extremely Improbable E	[Green]	[Green]	[Green]	[Green]	[Yellow]

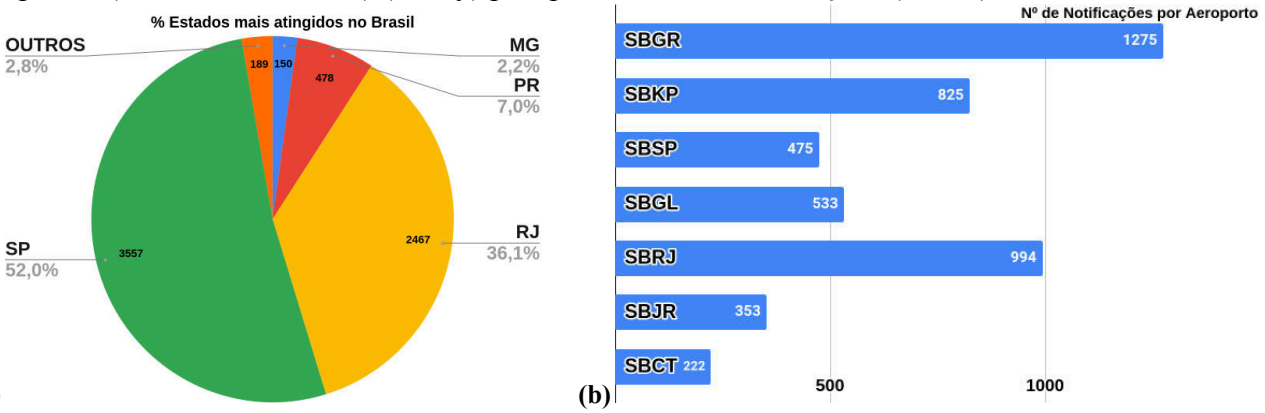
Quadro 5. (a) Matriz de Risco para Operações Comerciais/Categoria de Grande Porte; (b) Matriz de Risco para a Aviação Geral/Aeronaves de Pequeno Porte e Asas Rotativas. Fonte: FAA (2017).

O Alto Risco (cor vermelha) exige mitigação, monitoramento e aprovação de alto nível; é temporariamente aceitável enquanto controles são implementados. O Risco Médio (cor amarela) é aceitável com monitoramento, sendo a mitigação recomendada, mas não obrigatória. O Baixo Risco (cor verde) é aceitável sem restrições, exigindo apenas documentação se avaliado. Os quadros mostram também que pode ocorrer associação de causas comuns ou pontuais de médio e alto riscos.

4. RESULTADOS

4.1. Análise descritiva dos dados

A análise descritiva detalhou os principais Estados do País com maior número de notificações. Procedente do tratamento dos dados oriundos das fichas de notificações de ocorrências com balão, no período de 2014 a 2023, infere-se que a maior parte dos registros provêm dos Estados de São Paulo, com 3557 reportes, equivalente a 52% do total; Rio de Janeiro com 2467, representando 36,10%; e do Paraná, com 478 notificações e praticamente 7% do total. Juntos, os três representam quase 95% de todas as notificações, como pode ser observado, na Figura 1a. A Figura 1b, traz os principais aeroportos (Estados de SP e RJ) (eixo y) por quantidade de notificações (eixo x).



(a) (b)

Figura 1. a) Notificações dos Estados mais atingidos no Brasil; b) Notificações de balões dos principais aeroportos. Fonte: CENIPA (2024) adaptado pelos Autores.

O Aeroporto Internacional de Guarulhos/São Paulo (SBGR) teve 1.275 avistamentos de balões, seguido de 994 em Aeroporto Internacional de Galeão/Rio de Janeiro (SBGL) e 825 em Aeroporto Internacional de Viracopos/São Paulo (SBKP). Os demais, entre 200 e 500 notificações, contemplando os principais aeroportos críticos.

Grande parte das notificações se concentram no período matutino, compreendido entre as 06:00 horas e as 12:00 horas, em dias com céu aberto e sem chuvas. A Figura 2a demonstra a dispersão dos horários de maior frequência, há uma concentração significativa de notificações durante a manhã, entre 06:00 e 12:00, sugerindo que este é o período do dia em que os balões são mais frequentemente avistados. Este período é tipicamente associado a condições climáticas estáveis, o que pode facilitar o avistamento de balões.

Sobre a distribuição das notificações ao longo dos meses do ano, o maior volume ocorre no período das comemorações juninas, conforme Figura 2b. Os meses de Maio a Agosto, concentram 46,39% do total de reportes. Destaca-se também, o volume de registros nos períodos de férias escolares (Dezembro e Janeiro).

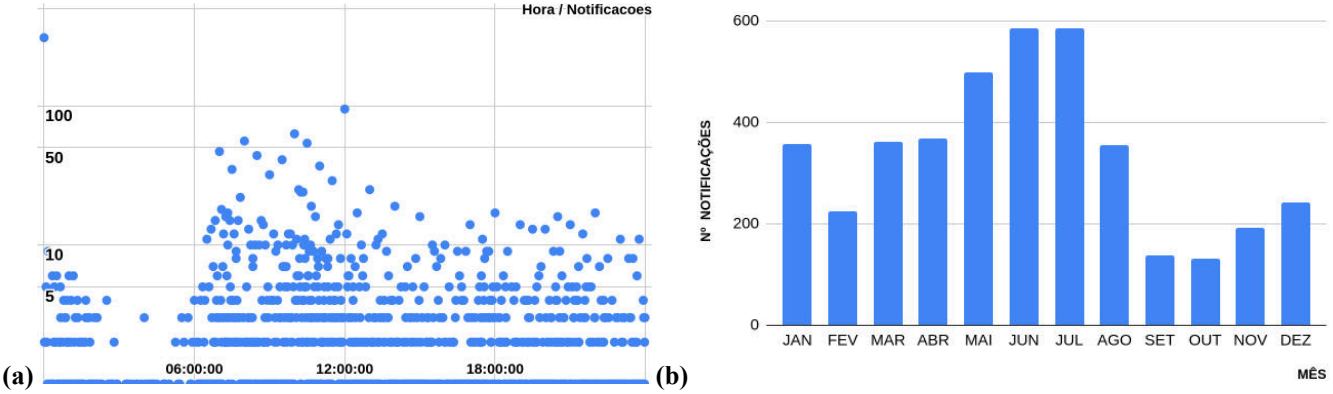


Figura 2. a) Principais horários de registros por notificações de balões; b) Notificações de balões por mês o ano. Fonte: CENIPA (2024) adaptado pelos Autores.

Ao analisar a fase de voo, constata-se que a maioria dos avistamentos se deram durante as fases críticas da operação, seja no pouso ou na decolagem. Conforme a Figura 3a, a soma das notificações durante a aproximação final das aeronaves, nos procedimentos de IFR (*instrument flight rules*), na descida/STAR (*standard terminal arrival route*) e no pouso, tem-se quase 36% das notificações; já durante a decolagem e a subida, tem-se mais de 16% das notificações, para todo o País. A Figura 3b apresenta o Estado de São Paulo, que segue a mesma tendência da Figura 3a, onde o somatório das notificações envolvidas durante a operação de descida ultrapassa 40%, e as de subida, quase 20% do total das notificações.

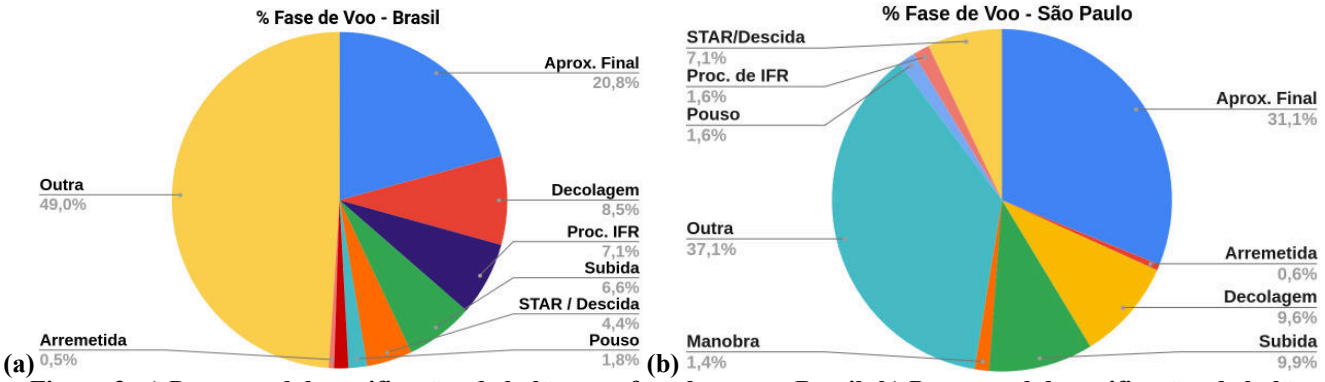
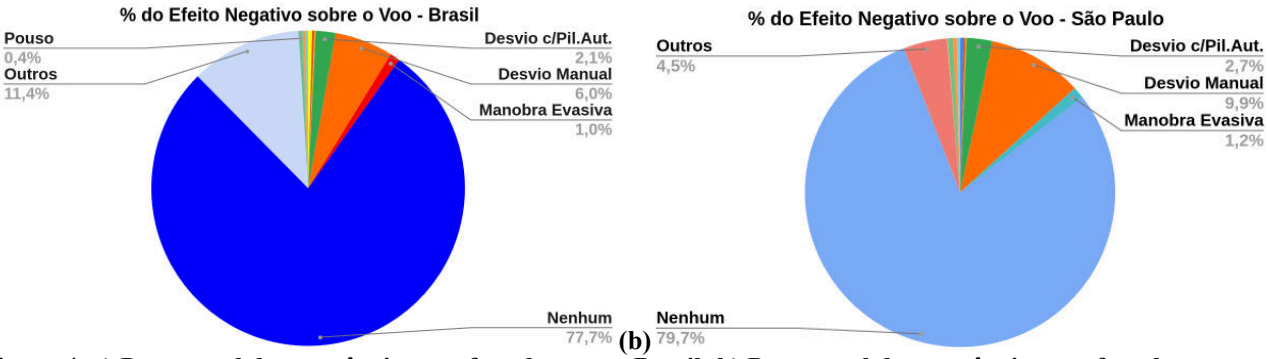


Figura 3. a) Percentual de notificações de balões por fase de voo no Brasil; b) Percentual de notificações de balões por fase de voo no Estado de São Paulo. Fonte: CENIPA (2024) adaptado pelos Autores.

A Figura 4a, mostra que grande parte das notificações não apresenta nenhuma interferência, contudo, há casos efeitos adversos no voo, como a necessidade de desvios manuais, desvios com o piloto automático, e arremetidas. A Figura 4b destaca a mesma análise para o Estado de São Paulo, onde os desvios manuais e as manobras evasivas superam 10,5% do total das ocorrências.



(a) (b)

Figura 4. a) Percentual de ocorrências por fase de voo no Brasil; b) Percentual de ocorrências por fase de voo no Estado de São Paulo. Fonte: CENIPA (2024) adaptado pelos Autores.

4.2. Análise do Índice Individual de Segurança

Ao relacionar a quantidade de voos por hora de operação e o número de notificações envolvendo balões livres, aplica-se a Equação 1, o Índice Individual. Este índice é calculado multiplicando-se por cem mil a razão entre quantidade de eventos e de decolagens. A Tabela 2 destaca o anos de 2022 como o mais crítico, com 148,59 notificações/100.000 decolagens no País.

Tabela 2. Índice Nacional (IN) para notificações com balão livre não tripulado (2014-2023).

Anos	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2014-2023
IN x 10^{-5}	29,72	28,93	50,32	76,91	95,45	99,29	128,63	148,59	109,50	91,73	78,97

4.3. Análise de Risco

A partir da frequência, número de casos pelo total de observações, temos que a frequência de notificações de balões pela quantidade de voos, entre os anos de 2014 a 2023, no País foi de 7,89 * 10^{-4} ou seja, próximo de 8 notificações para cada 10.000 voos.

Realizou-se a análise da frequência de notificações para os aeroportos mais críticos em notificações durante suas respectivas operações, já destacados na Figura 1b. Vale ressaltar foram levantadas as estatítiscas de voos de embarque + desembarque por aeroporto, por meio da plataforma HORUS com a data a última atualização em 24/07/2024 (ANAC, 2024). De modo especial, destaca-se um grande registro de notificações com balões não tripulados no Aeroporto de Jacarepaguá (SBJR), localizado no Rio de Janeiro, com apenas 4.570 voos no período de estudo.

A Tabela 3 apresenta a análise da frequência de notificações de balões em relação ao número de voos em oito dos principais aeroportos brasileiros entre 2014 e 2023.

Tabela 3. Frequência para Aeroportos mais Notificações. Fonte: Autores.

Aeroporto	Nº de Notificações (2014-2023)	Nº de Voos (2014-2023)	Estimativa de Voos/Dia	Estimativa de Voos em área de Notificações	Frequência
Congonhas (SBSP)	475	1.487.184	407,45	193.538	2,45E-03
Viracopos (SBKP)	825	1.098.487	300,96	248.288	3,32E-03
Guarulhos (SBGR)	1353	2.431.739	666,23	901.409	1,50E-03
Campo de Marte (SBMT)	139	623.713	171	23.752	5,85E-03
Jacarepaguá (SBJR)	353	4.570	1,25	442	7,99E-01
Curitiba (SBCT)	222	539.181	147,72	32.794	6,77E-03
Santos Dumont (SBRJ)	995	865.171	237,03	235.848	4,22E-03
Galeão (SBGL)	533	836.188	229,09	122.106	4,37E-03

Guarulhos (SBGR) lidera em número absoluto de notificações (1.353), seguido por Santos Dumont (SBRJ) e Viracopos (SBKP). No entanto, ao considerar a frequência relativa, que reflete a relação entre notificações e o número de voos em áreas de notificações, o Aeroporto de Jacarepaguá (SBJR) apresenta a maior frequência (7,99E-01), apesar de ter um número absoluto menor de voos. Campo de Marte (SBMT) e Curitiba (SBCT) também se destacam com frequências relativamente elevadas. Esses resultados sugerem que, embora os grandes hubs tenham um alto número absoluto de

notificações, aeroportos menores podem enfrentar um risco proporcionalmente maior de colisões com balões, demandando atenção específica para mitigação de risco

A Tabela 4 apresenta a análise de probabilidade, severidade e risco de colisões envolvendo balões em seis aeroportos brasileiros entre 2014 e 2023. Os riscos foram calculados conforme a FAA. Para a severidade, considerou-se a categoria 4 na maioria dos casos devido a presença de efeitos no voo, como: arremetidas, pousos de emergência, manobras evasivas, incêndios de pequeno porte dentro do sítio aeroportuário, entre outros relatados pelas notificações oficiais nos aeroportos apresentados plo CENIPA no período de 2014-2023. Apesar de SBBU ter apresentado uma colisão, o mesmo foi excluído por falta de dados.

Tabela 5. Probabilidade, Severidade e Risco em Aeroportos Brasileiros atingidos. Fonte: Autores.

Aeroporto (ICAO)	Acidentes (2014-2023)	Estimativa de Voos em área de Notificações	Probabilidade de Colisão	Classificação	Severidade	Risco
Congonhas (SBSP)	02	193.538	1,03E-05	D	2	**2D**
Viracopos (SBKP)	02	248.288	8,06E-06	D	3	**3D**
Guarulhos (SBGR)	13	901.409	1,44E-05	B	2	**2B**
Campo de Marte (SBMT)	01	23.752	4,21E-05	D	5	**5D**
Curitiba (SBCT)	03	32.794	9,15E-05	C	3	**3C**
Galeão (SBGL)	04	122.106	3,28E-05	C	2	**2C**

Guarulhos (SBGR) destaca-se com a maior quantidade de acidentes (13), resultando em uma probabilidade de colisão de 1,44E-05 e um risco classificado como "2B", exigindo atenção prioritária devido à severidade moderada e alta frequência. Galeão (SBGL) e Curitiba (SBCT) também apresentam riscos elevados ("2C" e "3C", respectivamente), devido à combinação de alta probabilidade de colisão e severidade significativa.

Viracopos (SBKP) e Congonhas (SBSP) mostram um risco menor, classificados como "3D" e "2D", respectivamente, indicando que, embora a probabilidade de colisão seja relativamente baixa, ainda há necessidade de monitoramento contínuo. Campo de Marte (SBMT), avaliado com base na matriz de risco para aviação geral e aeronaves de pequeno porte, apresenta um risco "5D", destacando a presença de balões nas proximidades das operações com aeronaves menores, mas com baixo risco a colisões. Esses resultados indicam que, apesar de diferenças na classificação de risco, todos os aeroportos requerem medidas de mitigação apropriadas para reduzir a possibilidade de colisões, especialmente em locais onde a combinação de severidade e probabilidade coloca o risco em níveis críticos ou moderadamente altos.

A análise de correlação de Pearson foi realizada para validar a relação linear entre notificações de balões e ocorrências de colisões, resultando em um coeficiente de 0,9157, indicando uma forte correlação positiva. Isso sugere que Estados com mais notificações tendem a registrar mais colisões, embora a correlação não implique causalidade direta. Outros fatores, como densidade do tráfego aéreo, também podem influenciar os resultados, destacando a importância de medidas preventivas em áreas com alta incidência.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho analisou o risco baloeiro e o seu impacto dos balões livres não tripulados sobre a segurança operacional dos aeroportos brasileiros. Utilizando dados de avistamentos e notificações de colisões entre 2014 e 2023, a pesquisa revelou uma alta concentração de ocorrências nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná, destacando os aeroportos de Guarulhos, Santos Dumont e Jacarepaguá como os mais críticos. Os resultados demonstram que, apesar do alto número de notificações em grandes hubs, aeroportos menores, como Jacarepaguá, enfrentam um risco proporcionalmente maior de colisões. A análise indicou que a incontrolabilidade dos balões e sua presença em áreas críticas do espaço aéreo aumentam significativamente os riscos de colisão. Estes achados reforçam a necessidade de regulamentações mais rigorosas e a implementação de tecnologias de monitoramento para mitigar os riscos associados aos balões livres não tripulados. A

colaboração entre autoridades, operadores aeroportuários e a comunidade é essencial para garantir a segurança do espaço aéreo brasileiro.

Os resultados mostram a necessidade de estudos mais profundos e regulamentações mais rigorosas para mitigar os riscos dos balões não tripulados. O rebaixamento da segurança aérea pela IFALPA em 2016 e a introdução de novas tecnologias, como drones e EVTOLs, reforçam a urgência de gerenciar esses riscos.

References

AERO MAGAZINE. (2016). *Balões levam a rebaixamento do espaço aéreo brasileiro.* Disponível em: https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/espaco-aereo-brasileiro-e-rebaixado_2602.html. Acesso em: 20 ago. 2023.

ANAC (2023). *Painel de Demanda e Oferta.* Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/demanda-e-oferta. Acesso em: 08 fev. 2024.

ANAC (2024). Horus - Sistema de Análise de Desempenho Aeroportuário. Agência Nacional de Aviação Civil. Disponível em: https://horus.labtrans.ufsc.br. Acesso em: 31 ago. 2024.

BASSETO, M. (2023a). *Enquanto balão caía no aeroporto Santos Dumont, Viracopos também era fechado pelo mesmo motivo.* AEROIN. Disponível em: https://aeroin.net/enquanto-balao-caia-no-aeroporto-santos-dumont-viracopos-tambem-era-fechado-pelo-mesmo-motivo/. Acesso em: 30 de ago. 2023.

BASSETO, M. (2023b). *Grande balão foi solto exatamente na rota de pouso do Aeroporto de Viracopos: assista ao momento.* AEROIN. Disponível em: https://aeroin.net/grande-balao-foi-solto-exatamente-na-rota-de-pouso-do-aeroporto-de-viracopos-assista-ao-momento/#google_vignette. Acesso em: 30 de ago. 2023.

BASSETO, M. (2023c). *Passageiro filma balão caindo no Aeroporto de Viracopos, bem próximo à aeronave após o pouso.* AEROIN. Disponível em: https://aeroin.net/passageiro-filma-balao-caindo-no-aeroporto-de-viracopos-bem- proximo-a-aeronave-apos-o-pouso/. Acesso em: 30 de ago. 2023.

BOYNARD, L. F. F. (2018). *Balões não tripulados: o risco baloeiro* (Monografia de Graduação, Unisul Digital). Repositório Universitário da Ânima.

BRASIL. (1940). *Decreto-lei n° 2.848, de 7 de dezembro de 1940.* Código Penal. Rio de Janeiro: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del2848.htm. Acesso: 1 Mai 2023.

BRASIL. (1998). *Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.* Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 3 maio de 2023.

BRASIL. (2016). ICA 100-12. *Regras do Ar.* Brasília: Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Disponível em: https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-12. Acesso em: 13 jul. 2023.

BRASIL. (2013). Ministério da Justiça. *Manual de Orientação às Forças de Segurança Pública para a Fiscalização de Balões Não Tripulados*. Brasília, 2016. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/cenipa/images/Anexos/Manual_de_orientacao_as_forcas_de_seguranca_publica.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2023.

CENIPA. (2013). *Relatório Final IG – 011/CENIPA/2013.* Comando da Aeronáutica. Disponível em: https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/paginas/relatorios/rf/pt/pt_mzc_17_06_11.pdf. Acesso: 13 Jun. 2023.

CENIPA. (2024). *Ficha de notificação de ocorrência com balão.* Comando da Aeronáutica. Disponível em: https://sistema.cenipa.fab.mil.br/cenipa/baloeiro/pesquisa. Acesso em: 08 Jan. 2024.

CRUZ, F. (2021). Hacking Airspace: The Insurgent Technology of Brazil's Hot Air Balloons, 1970–Present. Technology and Culture.

EASA. Study on the Societal Acceptance of Urban Air Mobility in Europe. 2021. Available in: https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/uam-full-report.pdf.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. FAA Order 8040.4B - Safety Risk Management Policy. Disponível em: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/FAA_Order_8040.4B.pdf. Acesso em: 25 ago. 2024.

FERNANDES, Cláudio. “Festas Juninas”; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/datas-comemorativas/festa-junina.htm>. Acesso em 17 jul. 2023.

HADDAD, C. A., CHRISTODOULOU, A., BADRAN, M. F.; LEISTER, W. (2020). Factors affecting the adoption and use of urban air mobility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 696-712.

IFALPA. (2016). *Rebaixamento da Classificação de Segurança do Espaço Aéreo Brasileiro.* Disponível em: https://www.aeronautas.org.br/images/_sna/_noticias/Carta_Ifalpa_Rebaixamento.pdf. Acesso em: 21 ago. 2024.

MONTEIRO, J. (2023). Balão cai sobre avião estacionado no Aeroporto Santos Dumont e pega fogo na pista. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2023/05/14/balao-cai-sobre-aviao-estacionado-no-aeroporto-santos-dumont-e-pega-fogo-na-pista.ghtml>. Acesso em: 21 de ago. de 2024.

RANGEL, L. H. (2008). *Festas Juninas, festas de São João: origens, tradições e história.* São Paulo: Publishing Solutions.

SCHMITT, G. (2018). O risco baloeiro na aviação brasileira: o problema causador do rebaixamento da classificação de segurança do espaço aéreo brasileiro.