

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AERONÁUTICAS



***RUNWAY STATUS LIGHTS*: uma análise da sua eficácia na mitigação de incursões de pista e possibilidade de implementação em aeroportos brasileiros**

ARTHUR FERNANDES MONTEIRO

GOIÂNIA  
2023

ARTHUR FERNANDES MONTEIRO

***RUNWAY STATUS LIGHTS*: uma análise da sua eficácia na mitigação de incursões de pista e possibilidade de implementação em aeroportos brasileiros**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador:

Prof. Dr. Humberto César Machado

Banca Examinadora:

Prof. Msc. Fabricio Schlag

Prof. Msc. Milena Guimarães

GOIÂNIA  
2023

ARTHUR FERNANDES MONTEIRO

***RUNWAY STATUS LIGHTS: uma análise da sua eficácia na mitigação de incursões de pista e possibilidade de implementação em aeroportos brasileiros***

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em sua forma final pela Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas, em 11/12/2023.

---

Orientador: Prof. Dr. Humberto César Machado

---

Prof. Msc. Fabricio Schlag

---

Prof. Msc. Milena Guimarães

GOIÂNIA  
2023

***RUNWAY STATUS LIGHTS: uma análise da sua eficácia na mitigação de incursões de pista e possibilidade de implementação em aeroportos brasileiros***

***RUNWAY STATUS LIGHTS: an analysis of their effectiveness in mitigating accidents and incidents in runway conflicts and the possibility of implementation in brazilian airports***

**RESUMO:** As Runway Status Lights (RWSL) foram criadas nos Estados Unidos com o objetivo de mitigar ocorrências relacionadas a incursão de pista, e se tratam de uma tecnologia que não está presente em aeroportos nacionais que tem seu movimento em estado crítico. Este estudo tem como objetivo geral identificar a eficácia deste aparato e fazer um comparativo do movimento de alguns aeroportos relevantes nacionais com os que possuem esta tecnologia, e como objetivo específico diagnosticar se há relevância deste em solo nacional. Foi utilizado para concluir o estudo, uma pesquisa bibliográfica e documental de natureza básica, com características quantitativas e qualitativas e utilização de um método dedutivo. Concluiu-se que o sistema é efetivo em sua função, mas depende da infraestrutura do aeroporto, e que, com a taxa de incursões de pista elevadas que aeroportos nacionais tem, se faz relevante, portanto, sugere-se que sejam instaladas RWSL no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** incursão de pista; luzes de situação de pista; acidentes; mitigação; aeroportos.

**ABSTRACT:** *Runway Status Lights (RWSL), which was created in the United States, aims to mitigate occurrences related to runway incursion, a technology that is not present in national airports where movement is in critical condition. This study has the general objective of identifying the effectiveness of this device and making a comparison of the movement of some relevant national airports with those that have this technology, and the specific objective of diagnosing whether it is relevant on national soil. To complete the study, bibliographical and documentary research of a basic nature was carried out with quantitative and qualitative characteristics using a deductive method. it was concluded that the system is effective in its function, but depends on the airport's infrastructure, and that, with the high rate of runway incursions that national airports have, it is relevant and it is suggested that RWSL be installed in Brazil.*

**KEYWORDS:** *runway incursion; runway status lights; accidents; mitigation; airports.*

## **1 INTRODUÇÃO**

A aviação está mais segura e abundante do que no passado, e isto significa que mudanças foram feitas para que o transporte aéreo seja viável em um mundo contemporâneo. As *Runway Status Lights* (RWSL), um sistema autônomo de alerta a

incursões em pista, tem a função de checar se tem outra aeronave ou veículo na pista, pois adiciona mais uma camada de proteção tanto para os pilotos quanto para as pessoas que trabalham no solo, além de automatizar o que teria que ser feito de forma manual.

É uma tecnologia já utilizada em aeroportos nos Estados Unidos, mas não no Brasil. A fim de verificar a sua eficácia e evidenciar a relevância desta inovação, é importante que seja feita uma comparação de dados acerca da quantidade de voos nacionais em relação àqueles com RWSL instalado. Sugere-se, ainda, pesquisar estudos científicos e realizar testes do aparato.

Neste sentido, o objetivo da pesquisa é verificar a relevância deste sistema nos aeroportos e demonstrar qual a necessidade da sua implementação nos aeroportos nacionais. Procura ainda, compreender a relação entre a presença das RWSL e a ocorrência de conflitos de pista, a fim de manter a aviação no Brasil mais segura.

Para tanto, o presente estudo é de natureza básica e busca apresentar as complexidades do tema estudado por meio de uma abordagem qualitativa, no que tange a investigar pontos para a mitigação do fator humano, e quantitativa, com análise de dados e estatísticas, a partir de procedimentos bibliográficos e documentais. Os sujeitos da pesquisa foram definidos como: uma análise da eficácia das RWST na mitigação de acidentes e incidentes em conflitos de pista e possibilidade de implementação em aeroportos brasileiros.

A fim de alcançar os objetivos propostos, adotou-se uma metodologia pautada em pesquisa bibliográfica em fontes como o Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), *Federal Aviation Administration* (FAA), Subdepartamento de Operações do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), bem como dados publicados pelos aeródromos e Google Acadêmico.

Com base na metodologia apresentada, o texto está dividido em 3 sessões. A primeira descreve o contexto e o histórico dos avanços na aviação, a fim de demonstrar como atualizações estão sempre sendo feitas. A segunda apresenta a *Runway Status Lights* e o seu funcionamento. A terceira sessão faz um comparativo entre dados dos aeroportos de Washington, New York, Guarulhos e Brasília. Espera-se, portanto, que a RWSL seja eficaz na sua capacidade de impedir incursões em pista e evitar o erro humano. Deste modo, evidenciará a sua necessidade no contexto nacional devido a movimentação dos aeroportos estudados.

## 2 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA E AVANÇOS NA AVIAÇÃO

Desde o princípio, a humanidade tem o desejo de voar, e apesar de, no passado, as pessoas nem sequer imaginarem que isso seria possível, em 1906 o primeiro voo bem-sucedido, sem o auxílio de meios externos para decolagem, foi realizado por Santos Dumont. A partir disso, a evolução dos aviões é notável. Duarte (2019) relata que, enquanto o primeiro avião voou apenas 220 metros, com uma duração de cerca de 21 segundos, nos dias de hoje, um Boeing 777-200ER, por exemplo, possui um alcance de 14.305 Km, e uma velocidade de cruzeiro de Mach 0,84<sup>1</sup> a 35.000FT (Boeing, 20-).

Em janeiro de 1914, na Flórida, o primeiro voo comercial foi realizado. A aeronave utilizada foi um hidroavião que acomodava somente um passageiro em um voo de 23 minutos. Porém, não foi atrativo ao público devido a ausência de conforto e qualidade, e, em relação a veículos terrestres, não tinha uma vantagem significativa quanto a velocidade. Isso mudou quando Charles Lindbergh fez um voo de New York para Paris com um tempo estimado em, aproximadamente 33 horas, e a partir daí, começou-se a investir em aviões maiores com o intuito de transportar passageiros (Barbosa, 2020).

Assim, a aviação comercial tornou-se uma parte vital da conectividade global, que transporta milhões de pessoas e toneladas de carga a cada ano. Contudo, segundo Ferreira (2017), inicialmente, viajar de avião era para poucos no Brasil, ou seja, o seu uso era limitado, por exemplo, a homens de negócios e funcionários públicos. As altas taxas de tarifas, regulamentadas pelo mercado brasileiro, faziam com que as passagens aéreas fossem onerosas. Até a entrada da GOL Linhas Aéreas no mercado, o uso de aviões sempre esteve ligado ao luxo, e o poder aquisitivo médio do brasileiro não era condizente com esses valores. Destaca-se que a empresa citada proporcionou um transporte aéreo acessível monetariamente, e isso fez a aviação se desenvolver significativamente no país.

Em 1978 ocorreu uma total liberdade tarifária nos EUA, que levou empresas consolidadas como Pan Am à falência. No Brasil, companhias aéreas, como por exemplo a Varig, passavam dificuldades para competir com as mais novas como a Gol, que iniciou operações em 2001. Esta mudança causou prejuízos às companhias

---

<sup>1</sup> Refere-se a velocidade de um objeto em movimento através do ar, dividido pela velocidade do som (Aerocurso, 2012).

aéreas já consolidadas antes da desregulamentação, de forma que nenhuma delas chegou ao ano de 2010 (Ferreira, 2017).

Após somente 5 anos de mercado, a GOL já obtinha um terço da participação total do mercado e isso cresceu ano a ano. Com isso, outras empresas surgiram e contribuíram para gerar uma competição ainda maior, e, por conseguinte, atrair novos clientes (Mileski, 2020). No entanto, esse crescimento trouxe consigo desafios significativos em termos de segurança aérea, especialmente nos aeroportos.

Com esse aumento no tráfego de aeronaves, os aeroportos também tiveram que evoluir ao longo das décadas, de forma que passou de pistas rudimentares a complexas instalações com múltiplas pistas, terminais e sistemas de controle de tráfego aéreo. Observa-se, no entanto, que importantes fatores logísticos, como espaço e capacidade estrutural, não comportam o atual fluxo de passageiros. Em dias comuns, 70% dos principais aeroportos do Brasil operam em capacidade crítica, com uma taxa média de ocupação maior que 180%. Caso seja considerado dias com movimentação alta devido à eventos ou circunstâncias especiais, os números podem aumentar ainda mais (Rodrigues *et al.*, 2014). Sendo assim, a necessidade de garantir a segurança das operações aeroportuárias, devido ao maior número de aeronaves, se faz cada vez mais presente, especialmente nas pistas de pouso e decolagem, que representam pontos críticos de risco (FAB, 2013).

Ao longo da história da aviação, ocorreram vários acidentes fatais relacionados a incursões<sup>2</sup> de pista. Um dos incidentes mais notórios foi o de Tenerife em 1977, quando duas aeronaves colidiram na pista em meio a uma densa névoa, o que resultou em centenas de mortes. Um atentado à bomba fez com que o destino de dois aviões Boeing-747, fosse redirecionado de Las Palmas, em Gran Canaria, para Tenerife, uma ilha vizinha. O aeroporto de Tenerife, conhecido por Los Rodeos, é significativamente menor que o da rota original, o que causou um volume anormal para sua capacidade (Mazzotto; França, 2021).

Além do fator de capacidade do aeródromo, um nevoeiro marítimo, comum na ilha de Tenerife, surgiu e comprometeu a visibilidade das tripulações, e assim, adicionou ainda mais uma dificuldade para os envolvidos. Na volta das aeronaves aos aeroportos de origem, o jumbo da empresa Holandesa KLM alertou a torre que decolaria primeiro. Segundo transcrições, o comandante desta aeronave estava com

---

<sup>2</sup> Incursão em pista é quando um veículo, animal ou pessoa ingressa na pista de um aeródromo sem autorização (ANAC, 2016).

um horário para pousar devido ao limite legal de horas trabalhadas, e caso ultrapassasse, poderia render um processo. A torre confirmou que recebeu a informação, e após isso, pediu para que esperasse autorização para decolagem, mas uma aeronave da empresa aérea Pan Am que estava parada em frente decidiu informar que ainda estava lá, mas como a frequência de rádio era a mesma houve uma interferência da fala da Pan Am com a torre e então a KLM interpretou a fala cortada da torre como uma autorização de decolagem e acelerou de encontro com a outra aeronave, de modo que isso resultou em um total de 583 vítimas fatais (Mazzotto; França, 2021).

O copiloto sobrevivente relatou que só foi possível enxergar a aeronave holandesa quando ela estava à 100 metros de distância devido a intensa camada de nevoa no local. Segundo a transcrição da cabine, o copiloto interrompe o comandante no momento da decolagem e lembra que eles não possuíam uma devida autorização, mas o comandante ignora o aviso e prossegue com a operação. O copiloto também pergunta se a outra aeronave já saiu e o comandante diz que sim. A culpa deste acidente foi atribuída ao falecido comandante da KLM (Mazzotto; França, 2021).

Eventos como este, em que múltiplas dificuldades situacionais são colocadas diante das tripulações, ocorrem acidentes graves. Neste sentido, o investimento em inovações, tanto de conduta quanto relacionados a tecnologia, se justificam. O comportamento em cabine vem sendo melhorado por meio de treinamentos como o *Crew Resource Management (CRM)* que tem função de promover o trabalho em equipe e maior aproveitamento dos tripulantes (Teixeira, 2018). Tecnologias também podem mitigar a falha de comunicação, e o RWSL com sua automatização pode adicionar mais uma camada de segurança.

## **2.1 As inovações tecnológicas no setor aéreo e sua contribuição para a mitigação dos acidentes e incidentes**

Ao longo das últimas quatro décadas, a segurança na aviação experimentou uma transformação significativa. Em 1980, foram registrados 379 acidentes no mundo, enquanto em 2022, esse número caiu para apenas 99 reportados. Estes estudos, feitos pela *The Bureau of Aircraft Accidents Archives (20a)*, evidenciam uma tendência clara na diminuição no número de acidentes aéreos, e reflete que os avanços tecnológicos têm gerado resultados positivos na melhoria da segurança da aviação.



Uma das principais razões para essa diminuição expressiva de ocorrências é o papel desempenhado pelas inovações tecnológicas. O setor aeronáutico tem sido pioneiro na incorporação de inovações para garantir a segurança das aeronaves, tripulações e passageiros. Avanços notáveis incluem a evolução na concepção e fabricação de veículos aéreos, com o uso de materiais mais leves e resistentes, o que resulta em aviões mais duráveis e seguros (Duarte, 2019).

Além disso, sistemas modernos, como GPS, têm aprimorado a precisão e eficiência da navegação aérea, e isso reduz consideravelmente o risco de erros de navegação, comparado a bússola que foi o primeiro sistema de navegação das aeronaves e não oferecia suporte o suficiente para voos longos. Antes da década de 1980 eram necessários engenheiros de voo ou navegadores para que fosse possível realizar uma navegação segura, mas após a criação do *Flight Management System* (FMS) essas funções foram extintas (Ubiratan, 2023).

A separação e identificação aérea entre aeronaves foram possibilitadas pelo radar, que foi criado originalmente para detectar aeronaves inimigas e amigas durante a Segunda Guerra Mundial e atualmente providencia uma segurança, tanto de operações, quanto bélica segundo Pareta (2023). Com os estudos voltados aos radares bélicos, o radar meteorológico foi criado. No século de 1940, físicos do MIT confirmaram a possibilidade de utilizar radares para fins meteorológicos, e em 1944 já estava sendo utilizado pelos norte-americanos. Neste contexto, eles têm a função de detectar formações adversas de tempo, como chuva e granizo, e auxiliar o piloto no sentido de evitar situações perigosas (Silva, 2016).

Com o aumento do tráfego aéreo, nos anos 90 o Laboratório de Lincoln da MIT propôs o conceito das RWSL com o propósito de minimizar impactos de fatores humanos e prevenir incursões de pista. Assim, a *Federal Aviation Administration* (FAA) passou a conduzir estudos e testes, segundo Dobbs (2008).

Em 2005, foram instalados protótipos da *Runway Entrance Lights* (REL) e *Takeoff Hold Light* (THL) no aeroporto internacional de Dallas Fort Worth, e concluiu-se que a probabilidade de incursão de pista diminuiu em 70%. Em 2009, o aeroporto internacional de Los Angeles também realizou o mesmo teste, e em 2010 o aeroporto de Boston Logan conduziu um teste de verificação do sistema do *Runway Intersection Lights* (RILs) (Jiang *et al.*, 2022).

### 3 O FUNCIONAMENTO DAS *RUNWAY STATUS LIGHTS* E SUAS DEPENDÊNCIAS

As *Runway Status Lights* (RWSL) são um sistema projetado para aumentar a segurança nas pistas de pouso e decolagem dos aeroportos. Ele é composto por uma série de luzes que são instaladas ao longo das pistas e que indicam aos pilotos e controladores de tráfego aéreo a condição de uso da pista em tempo real. A sua eficácia é baseada na capacidade de alertar pilotos e controladores de tráfego aéreo sobre possíveis conflitos na pista. Quando o sistema detecta um avião ou outro veículo na pista, as luzes acendem em vermelho, a fim de indicar que há um conflito potencial. Isso ajuda os pilotos e controladores a tomarem medidas preventivas para evitar colisões ou outros incidentes (FAA, 2018)

No ano de 2011, a FAA publicou um documento, *Engineering Brief #64D*, que classifica esse sistema em três tipos, sendo REL, THL e RIL, a depender de onde ela foi instalada. Cada uma delas é posicionada em um local diferente e com funcionamentos levemente distinguido um do outro, mas com a mesma finalidade, a de impedir colisões em solo. A ICAO, *Convention on International Civil Aviation--Annex 14: Aerodromes --Volume 1: Aerodrome Design and Operations* (oitava edição), cita que a RWSL possui 2 tipos básicos de componentes visuais, o THL e REL (Jiang *et al.*, 2022).

As RELs, instaladas nas interseções de *taxiway* com a pista, são luzes vermelhas posicionadas dois pés lateralmente da *centerline* da *taxiway*, a primeira luz é posicionada dois pés antes do ponto de espera, a penúltima luz se encontra dois pés antes da faixa que demarca o início da pista e a última luz fica dois pés antes da *centerline* da pista (Mcnerney, 2011). As luzes vermelhas acenderão em todas as RELs quando uma aeronave que decola chega em uma velocidade de 30 kts<sup>3</sup> na pista que faz cruzamento. As luzes são programadas para apagar cerca de 2 a 3 segundos antes da aeronave que está a decolar, cruzá-la, para otimizar a agilidade dos controladores. Ressalta-se que quando a aeronave está fora de solo, as luzes se apagarão.

Quando uma aeronave chega para pouso, todas as RELs iluminarão quando o avião chega a uma milha da cabeceira da pista. Essa distância é padrão, mas pode ser mudada a depender do aeroporto ou operação. Após o avião reduzir a velocidade

---

<sup>3</sup> Unidade de medida nós, milhas náuticas por horas (Viven do Bauru, 2023).

para aproximadamente 80 kts (parâmetro ajustável), todas as RELs que não estão dentro de trinta segundos do trajeto em linha reta da aeronave, se apagarão, após a aeronave reduzir a velocidade para 32 kts (parâmetro ajustável) ela é considerada em táxi e todas as luzes serão extinguidas (FAA, 2015).

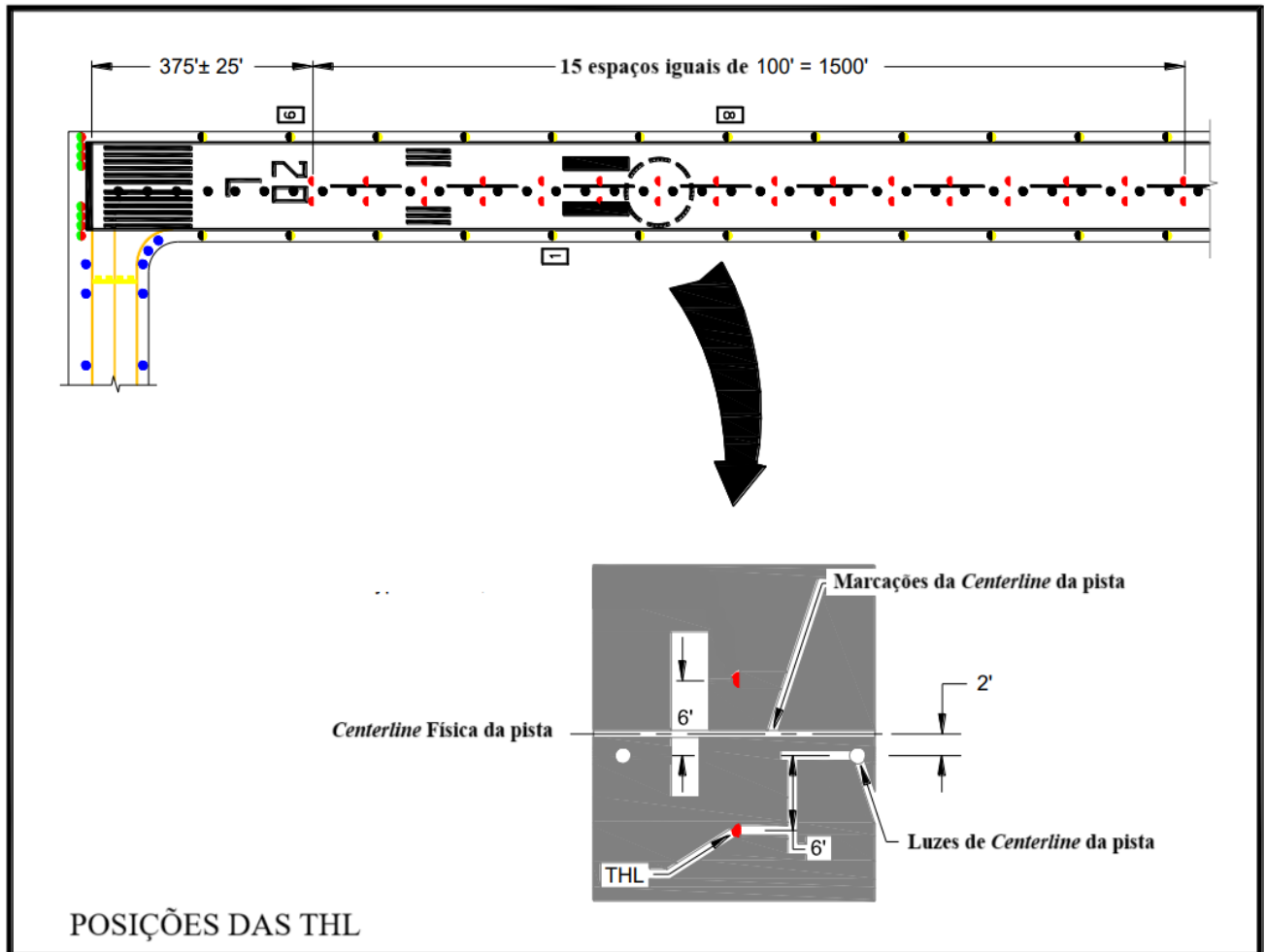
Existem 3 tipos de configuração de uma REL, a básica, a angulada e a curvada. A básica é a mais comum e mais simples, e quando a intersecção da *taxiway* com a pista é perpendicular, ou seja, faz um ângulo de 90 graus. A angulada, se trata de uma *taxiway* que faz um ângulo não perpendicular com a pista com no mínimo 60 graus, e assim, o espaçamento das luzes segue o mesmo princípio da perpendicular.

Caso a inclinação seja grande (ângulo menor que 60 graus), então deverá ser feita uma análise, caso a caso. Já a curvada, que é quando o ponto de espera em relação com a pista é curvo, as luzes deverão seguir a *centerline* na linha das últimas duas luzes antes da borda da pista (Mcnerney, 2011).

As THLs, são instaladas na cabeceira onde o avião fica. Antes de iniciar a corrida de decolagem, as luzes são instaladas por volta de 375 pés adiante da cabeceira para que a tripulação ou veículo possa enxergá-las. São fixadas ao solo em duas fileiras paralelas, e são posicionados seis pés das luzes de *centerline* da pista em ambos os lados.

Caso a pista não possua luzes de *centerline*, então deve-se utilizar uma linha imaginária que as representa. Servem para alertar o condutor da aeronave se é seguro decolar ou não, e, portanto, quando as luzes vermelhas estiverem ligadas significa que não é seguro prosseguir com a operação. As luzes têm uma separação de 100 pés que seguem o eixo da pista, e são posicionadas entre as *Runway Center Lights* como representado na Figura 1. Para tanto, seguem um total de 1500 pés e 32 luzes, mas isso, pode ser mudado a depender do aeroporto (Mcnerney, 2011).

Figura 1 - Posições das THL

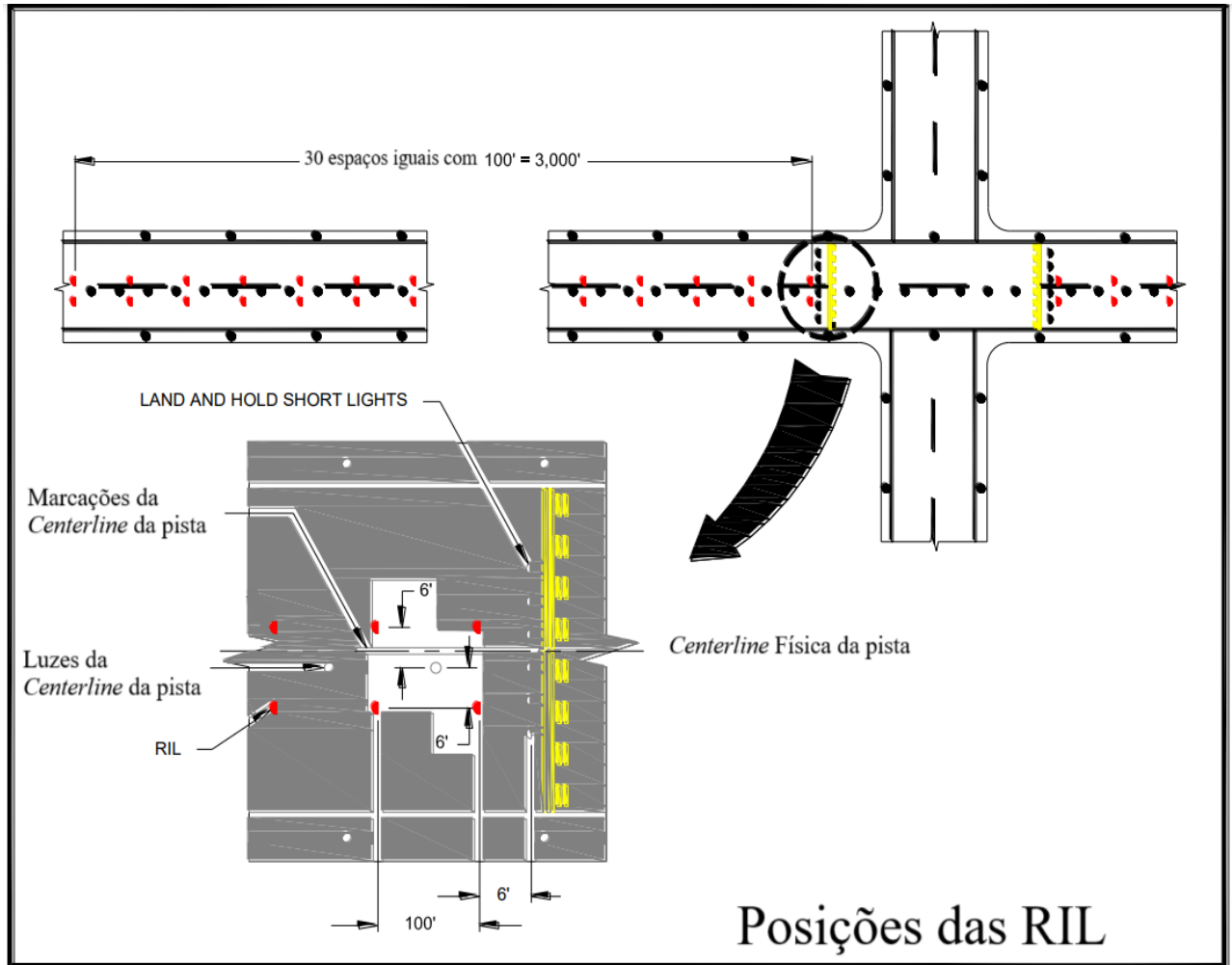


Fonte: Mcnerney, 2011.

Por fim, as RILs, que são usadas nas intersecções de 2 pistas, alertam uma das pistas que há um veículo em alta velocidade, e que não é seguro cruzar. As RILs são dispostas da mesma maneira que as THLs, em duas fileiras e seguem as luzes de *centerline*. Estas começam 6 pés de um ponto de luzes demarcado chamado de *Land and Hold Short* (LAHSO) que representa um ponto de intersecção de pista, e necessita de autorização da torre para cruzar, e seguem por 3000 pés na direção oposta da intersecção, tendo 100 pés de distância longitudinal, o que totaliza 31 pares.

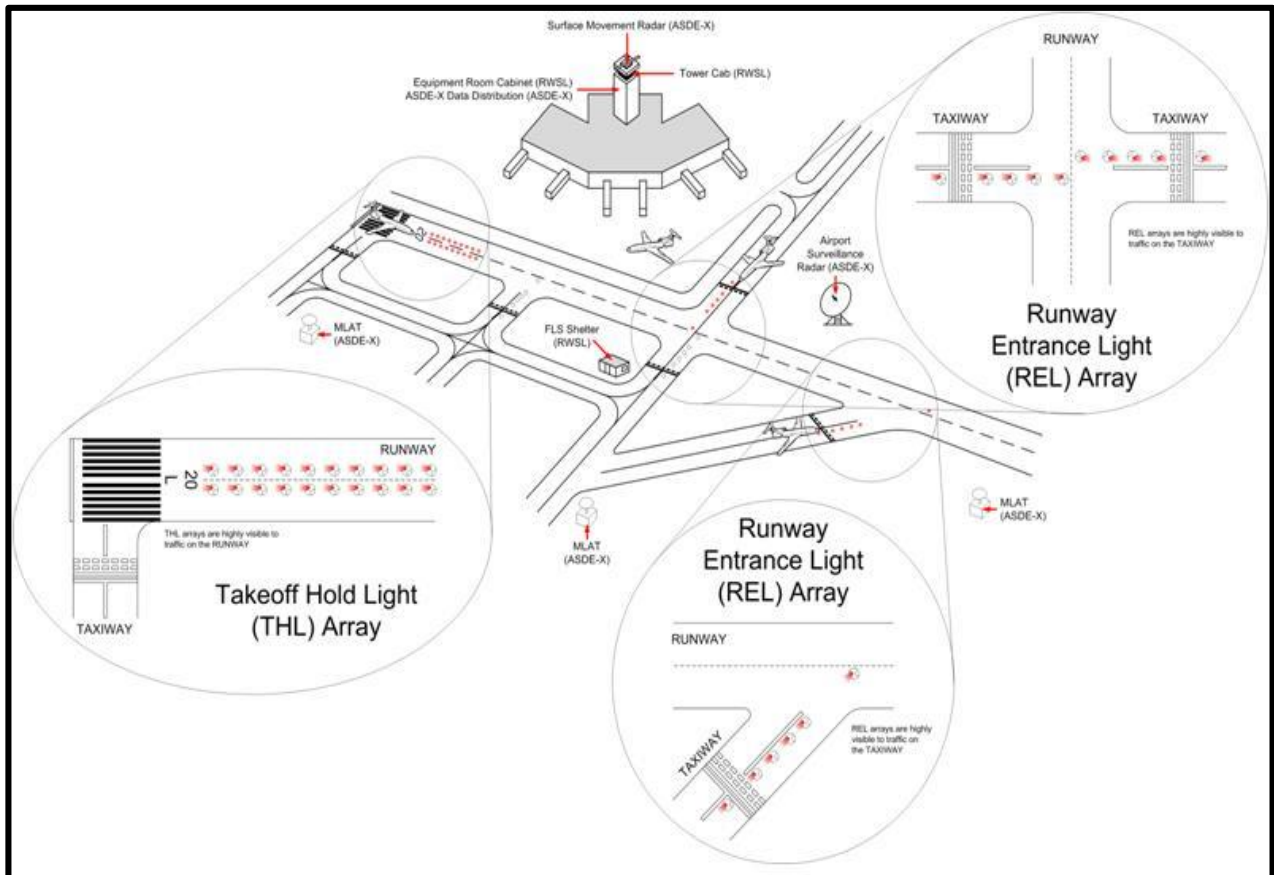
Se caso a pista não tiver nem luzes LAHSO, e nem uma demarcação no solo, então deve-se visualizar uma demarcação imaginária e usar 8 pés de distância dela. Se também o RIL e THL se misturarem devido ao tamanho da pista, deve-se utilizar o sistema RIL como primário para seguir um distanciamento padrão. Exemplo de como seria uma RIL, na Figura 2 (Mcnerney, 2011).

Figura 2 - Posições das RIL



Fonte: Mcnerney, 2011.

Figura 3 - THL, RIL e REL instaladas em um aeroporto



Fonte: Mcnerney, 2011

Em um cenário em constante evolução, analisar dados recentes de incidentes e acidentes aéreos relacionados a colisões em pista, permite identificar a eficácia das RWSL na prevenção desses eventos e, assim, observar se aeroportos nacionais realmente se beneficiariam com tal tecnologia. Ao aprender com dados do passado, pode-se aprimorar os protocolos de segurança e, assim, garantir viagens aéreas mais seguras no futuro.

Segundo o histórico de Voo Regular Ativo (VRA) publicado pela ANAC (2023), o número de voos tem aumentado no Brasil ao longo dos anos, com isso, existe a possibilidade de, com o passar do tempo, surgir a necessidade de os aeroportos precisarem de sistemas automáticos, com este aparato de segurança, para reduzir a carga de trabalho de controladores aéreos.

### 3.1 O papel das *Runway Status Lights* na mitigação do fator humano

As RWSL trabalham de forma conjunta com inúmeros sistemas de monitoramento, como os *Surface Movement Radars* (SMRs), que são radares de monitoramento que detectam aeronaves e veículos na superfície do aeródromo. Outro que pode ser citado, é o *Multilateration* (MLAT), que serve para detectar com mais precisão a posição de um veículo, e para isso utiliza a diferença de tempo em que um sinal enviado leva para chegar até o objeto e voltar. Esta tecnologia conta com diversos pontos de radares para uma informação mais precisa e com menores taxas de atualização (James, 2007).

Quando o Lincoln Laboratory testou a efetividade das luzes, em 1994, o sistema, apesar de operar como foi projetado, foi adiado devido à quantidade de alarmes falsos faziam com que as luzes vermelhas acendessem. Isto é devido, em sua grande maioria, pela tecnologia de radares que não eram desenvolvidas o suficiente para trabalhar em conjunto com um sistema automático. Deste modo, a FAA e o Laboratório de Lincoln redirecionaram sua atenção para melhorar a qualidade dos sensores em solo, e para tanto, incorporaram o sistema de multilateração, que, em grande escala, é imune a alarmes falsos causados por interferência de sinais. Em 2000, a FAA assinou um contrato para 26 desses radares de alta precisão serem instalados em aeroportos de alta demanda, e, por volta do mesmo período, a NASA concluiu um estudo que pilotos entenderiam e aprovariam do sistema RWSL, e com isso motivou a FAA a voltar com os testes em 2001 (Eggert *et al.*, 2006).

O sistema de radares criado se chama *Airport Surface Detection System — Model X* (ASDE-X), que utiliza tanto radares quanto multilateração<sup>4</sup> e tecnologia de satélites. Isso permite aos controladores coordenarem veículos e aeronaves com total precisão de sua localização. A tecnologia é capaz de alertar a torre sobre possíveis colisões, e para isso utiliza uma cobertura detalhada de pistas e *taxiways*. Ele mostra para os controladores todos os veículos, com transponders ou não, em uma tela com cores, útil para manter a consciência situacional em dias com alta demanda ou pouca visibilidade (Eggert *et al.*, 2006).

Com um sistema completamente automático, o fator humano é removido quase completamente da situação, e isso possibilita maior segurança para o voo. Um estudo

---

<sup>4</sup>Multilateração ou *multilateration*, em inglês, é um sistema que detecta um nodo desconhecido por meio da distância deste e antenas posicionadas (Müller, 2014).

feito pela Boeing em 2004 mostra que 62% dos acidentes com aeronaves de grande porte são frutos de erros humanos (ECCO, 2019), que podem ser influenciados por fadiga ou falha na comunicação. A RWSL não pode conceder autorizações para veículos ou aeronaves, apenas auxiliar os operadores a não cometerem erros, e se for o caso, até cancelar uma ordem recebida pela torre. Apesar de não substituir o homem em sua função, serve como uma camada a mais na segurança, e impede que o piloto cause uma colisão ao prosseguir com a operação (FAA, 2020).

#### **4 ANÁLISE DOS DADOS DE AEROPORTOS QUE POSSUEM *RUNWAY STATUS LIGHTS* COMPARADOS AOS QUE NÃO POSSUEM**

No Brasil, ocorreram 241 casos de incursão de pista somente em 2022, segundo o relatório de performance publicado pelo DECEA (2023). Nos Estados Unidos houve 1732 casos de incursão de pista no mesmo ano, segundo Tabachnick (2023). Mas apesar da grande diferença de ocorrências dos dois países, também há uma alta discrepância em número de voos realizados em 2022. Ou seja, enquanto no Brasil foram feitos aproximadamente 831 mil voos de acordo com Anac (2023), nos Estados Unidos o número de voos foi de aproximadamente 8,7 milhões de voos (*Bureau Of Transportation Statistics*, 2023). Isso significa que, no Brasil, ocorrem cerca de 29 incursões de pista a cada 100 mil voos, já nos EUA, são cerca de 20 incursões de pista por 100 mil voos.

Entre os anos de 2010 e 2018, 4,49% dos acidentes aéreos no Brasil foram causados por colisões com obstáculos na pista. Quando se trata de acidentes graves, aqueles que resultam em mortes ou ferimentos graves, os dados mostram que cerca de 1% destes foram causados por colisão com obstáculos no solo. (Silva Junior, 2021). Esses números revelam a importância de aprimorar a segurança em torno das pistas de decolagem e pouso, e adotar medidas preventivas como a instalação de sistemas de alerta para detectar a presença de obstáculos, assim como ações para prevenir a excursão de pista, como o adequado treinamento dos pilotos. Dessa forma, é possível minimizar os riscos de acidentes aéreos relacionados a incursão em pista, e garantir a segurança dos passageiros e tripulantes.

Os maiores aeroportos do Brasil são responsáveis por grande parte do tráfego aéreo no país, o que os coloca em posição de destaque quando se trata de acidentes



aéreos. Entre esses aeroportos, segundo Lichmann (2023), os de São Paulo são os mais movimentados e, com mais ocorrência de acidentes. De acordo com dados do CENIPA, entre os anos de 2010 e 2019, São Paulo foi o estado com maior número de acidentes aéreos no Brasil, e representa 25,76% do total de ocorrências registradas. Entre os acidentes graves, São Paulo também lidera, com 22,22% dos casos registrados no país (Silva Junior, 2021).

Embora os estudos específicos, que consideram a estrutura do aeródromo em questão, sejam necessários para avaliar a eficácia do sistema RWSL de forma mais precisa, as evidências anedóticas sugerem que o sistema é algo benéfico para a aviação brasileira. No entanto, é importante destacar que a aquisição do sistema RWSL envolve custos monetários nos aeroportos brasileiros. Além disso, sua implementação deve seguir as normas e regulamentações estabelecidas pela ANAC do Brasil (ANAC, 2021).

A análise comparativa das operações, durante o mês de junho de 2023, de aeronaves nos aeroportos *Washington Dulles International Airport* e aeroporto JFK, localizados nos Estados Unidos, o Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek e o Aeroporto Internacional de Guarulhos (GRU), no Brasil, fornece uma visão abrangente das diferenças e semelhanças entre esses importantes centros aeroportuários.

No mês em questão, o *Washington Dulles International Airport* destacou-se como um hub<sup>5</sup> movimentado no cenário internacional e registrou um total de 21.676 operações de aeronaves, segundo dados publicados por *Metropolitan Washington Airports Authority* (2023). Por outro lado, o Aeroporto de Brasília, apesar de sua excelente posição geográfica, como um importante ponto de conexão na América do Sul, registrou um total de 12.666 operações, o que indicou um volume de tráfego consideravelmente menor em comparação com o *Dulles*. No entanto, é fundamental notar que o Aeroporto de Brasília, apesar do menor volume de operações, apresenta uma vantagem em termos de segurança operacional, devido ao seu *layout* com apenas duas pistas, de acordo com a carta do aeródromo publicado pelo DECEA (2023). Isso, por conseguinte, resulta em menos pontos de cruzamento de pista em comparação com o Dulles, que possui quatro pistas (*Dulles International*, 20-).

---

<sup>5</sup> Aeroporto muito utilizado por empresas para distribuição de passageiros e carga até o destino final (Azzolini, 2023).

O Aeroporto de Guarulhos, liderou o *ranking* brasileiro com 22.305 operações em junho de 2023, segundo dados fornecidos pelo aeroporto GRU (2023). Assim, consolida sua posição como o principal aeroporto do Brasil e um dos mais movimentados da América Latina, de acordo com Lichmann (2023). Já no aeroporto JFK de Nova York, houve 40.315 voos no mês de junho de 2023, uma diferença significativa para os demais, sendo assim o aeroporto mais movimentado dos 4 escolhidos e conseqüentemente o que mais precisa de inovações para suportar a quantidade de movimento (Panynj, 2023). Estes números revelam que o Brasil possui aeroportos com movimentação suficiente para se tornar relevante em um cenário internacional, e, portanto, está apto a aquisição de novas tecnologias.

Em Brasília existem 13 pontos onde podem ser instalados as RWSL, sendo que, 4 destes serão THL que são posicionados nas cabeceiras das pistas e 9 serão REL que são fixados em *taxiways*. Nenhuma RIL será instalada devido a não existência de cruzamento de pista (DECEA, 2023). No aeroporto de Guarulhos, podem ser instalados 26 RWSL sendo 4 THL e 22 REL, mas no aeródromo de Guarulhos existem 4 *Hot Spots*, que são lugares onde possui risco histórico ou potencial de colisões ou incursões de pista e se torna necessário maior atenção. Ressalta-se que estas localizações se tornariam mais seguras com o sistema automático de incursão de pista (DECEA, 2023). Apesar de Brasília não apresentar *hot spots*, o aeroporto JK foi o que apresentou maior número de incursões em pista no Brasil dos anos de 2010 a 2018 (Silva Junior, 2021).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou a efetividade das *Runway Status Lights* na prevenção de incursões em pista e qual seria a sua relevância em aeródromos nacionais. Para tanto, considerou a dificuldade do Brasil em manter seus aeroportos mais movimentados com uma taxa de incursões de pista aceitável em relação aos norte-americanos, com o objetivo de verificar a necessidade da aquisição de sistemas de segurança como RWSL.

Observou-se com o estudo, que a aviação tem tido um crescimento exponencial ao longo de cada ano, o que a torna cada vez mais necessária e presente no país. Por outro lado, o perigo de voar, diminui cada vez mais devido aos avanços

tecnológicos e pesquisas dentro voltadas para este fim e os que o permeia. Com o exemplo do acidente de Tenerife, concluiu-se que a incursão de pista pode ser causada com pequenos erros de comunicação e principalmente com a capacidade dos aeródromos quase que no limite.

Evidenciou-se que a tecnologia de RWSL se faz importante em casos de incursão em pista, com uma possibilidade de mitigação de até 70% dos casos do aeródromo. Destaca-se que ela não só é independente da ação humana como também age em 3 pontos diferentes do voo, estes sendo a entrada na pista pela *taxiway*, a decolagem e o taxi pela pista, mas apesar disto, depende de outras tecnologias de ponta como radares e antenas de multilateração para agir com maior precisão. Foi também evidenciado que aproximadamente dois terços dos acidentes são causados por erros humanos, e que as luzes automáticas têm a capacidade de impedir que estes ocorram.

Foi observado que o número de voos que ocorreram em 2022 nos Estados Unidos é muito superior aos que foram realizados no Brasil referente ao mesmo ano, mas, apesar disso, os números de incursão em pista do Brasil para cada 100 mil voos são muito superiores. Isso destaca a necessidade que os aeródromos nacionais têm de melhorar a segurança neste quesito.

O aeroporto internacional de Brasília, apesar de ter menos movimento que o de Guarulhos, apresenta uma taxa maior de incursões em pista do que todos os aeroportos do país nos anos estudados, e também tem seu movimento similar ao *Dulles International* que possui o sistema RWSL. Isso reforça que Brasília tem a relevância suficiente para ter a tecnologia em seu aeroporto.

Guarulhos tem um movimento ainda maior que *Dulles*, e apesar de ter o movimento menor que o de New York, apresenta 4 *Hot Spots* perigosos para casos de incursão em pista. Deste modo, se torna recomendável que São Paulo instale o sistema de RWSL.

Em razão dessas características e apesar do Brasil ter se destacado significativamente na indústria da aviação, com o Aeroporto Internacional de Guarulhos (GRU) sendo um exemplo notável, ainda existe uma lacuna em relação à segurança no quesito de incursão em pista. É crucial que os aeroportos do país continuem a incorporar tecnologias avançadas para manter e aprimorar os padrões de segurança e eficiência em suas operações, como o sistema *RWSL*.

A implementação das *Runway Status Lights* se faz viável pela sua efetividade comprovada mediante a significativa quantidade de incursões de pista por movimento no Brasil. Por fim, sugere-se que investimentos sejam feitos com vistas a implantação de radares e sistemas de multilateração, a fim de mitigar o erro humano neste tipo de incidente. Também é recomendado que tenha Brasília e Guarulhos como prioridade devido a importância dos aeroportos e a quantidade de incursões comparado ao resto do país.

## REFERÊNCIAS

ACCIDENTS GRAPH 1980-1989. **Bureau of Aircraft Accidents Archives**, 20. Disponível em: [https://www.baaa-acro.com/crash-graph?created\[min\]=1980-01-01&created\[max\]=1989-12-31](https://www.baaa-acro.com/crash-graph?created[min]=1980-01-01&created[max]=1989-12-31). Acesso em: 11 nov. 2023.

ACCIDENTS GRAPH 2020-2029. **Bureau of Aircraft Accidents Archives**, 20. Disponível em: [https://www.baaa-acro.com/crash-graph?created\[min\]=2020-01-01&created\[max\]=2029-12-31](https://www.baaa-acro.com/crash-graph?created[min]=2020-01-01&created[max]=2029-12-31). Acesso em: 11 nov. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária. RBAC n. 154: projeto de aeródromos. **Emenda 07**. [Brasília, DF]: ANAC, 16 jun. 2021.

ANAC, **Setor aéreo brasileiro mostra forte recuperação de indicadores em 2022**: Anuário do Transporte Aéreo 2022 apresenta o comportamento do setor. Ministério da Infraestrutura, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2023/setor-aereo-brasileiro-mostra-forte-recuperacao-de-indicadores-em-2022#:~:text=> Acesso em: 16 nov. 2023.

ANAC, **Atuação da ANAC**. Ministério da infraestrutura, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/noticias/2022/anac-divulga-principais-acoes-realizadas-em-2021>. Acesso em: 16 nov. 2023

ANAC. **Incursão em Pista**. ANAC, 2016. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/setorregulado/aerodromos/certificacao/runwaysafety/incursao-em-pista>. Acesso em: 16 dez. 2023.

AZZOLINI, Willian. O que é HUB, e porque ele é tão importante para a aviação. **Air Insp**, 2023. Disponível em: <http://www.airinsp.com.br/hub-aviacao/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BARBOSA, Mariana. Como nasceu a indústria do transporte aéreo. **Super interessante**, 2020. Disponível em: <https://super.abril.com.br/especiais/como-nasceu-a-industria-do-transporte-aereo>. Acesso em: 16 nov. 2023.

BOEING, Site. **Família 777**. Boeing, 0000. Disponível em: <https://www.boeing.com.br/produtos-e-servicos/avioes-comerciais/777.page>. Acesso em: 06 out. 2023.

BUREAU OF TRANSPORTATION STATISTICS, **T-100 Market data**. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2023. Disponível em: [https://www.transtats.bts.gov/Data\\_Elements.aspx?Data=4](https://www.transtats.bts.gov/Data_Elements.aspx?Data=4). Acesso em: 16 nov. 2023.

DADOS Operacionais. **Aeroporto de Brasília**, 2023. Disponível em: <https://www.bsb.aero/institucional/dados-operacionais>. Acesso em: 16 nov. 2023.

DUARTE, Sérgio. **Evolução dos aviões**: entenda as mudanças ao longo da história. Engenharia Aeronáutica, 2019. Disponível em: <https://engenhariaaeronautica.com.br/curiosidades-engenharia-aeronautica/evolucao-dos-avioes-entenda-as-mudancas-ao-longo-da-historia/>. Acesso em: 06 out. 2023.

DECEA. **Sbgr\_adc-sbgr\_adc\_20231005**: ADC SBGR. São Paulo, 2023.

DECEA, **Relatório de Performance do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro (SISCEAB) 2023**. Performance do SISCEAB, 2023. Disponível em: <https://performance.decea.mil.br/storage/performance/uploads/2023/06/Relatorio-Performance-ATM.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO, **SBBR ADC ADC SBBR (02.11.2023)**. Distrito Federal, 2023.

DOBBS, David. *Faa's Implementation Of Runway Status Lights*. **Federal Aviation Administration**, 2008. Disponível em: [https://www.oig.dot.gov/sites/default/files/WEB\\_Final\\_RWSL.pdf](https://www.oig.dot.gov/sites/default/files/WEB_Final_RWSL.pdf). Acesso em: 16 dez. 2023.

DULLES INTERNATIONAL, **About Dulles International**. Fly Dulles, 20. Disponível em: [international#:~:text=The%20current%20fourrunway%20configuration,600%2C000%20aircraft%20operations%20per%20year https://www.flydulles.com/about-dulles..](https://www.flydulles.com/about-dulles..) Acesso em: 16 nov. 2023.

ECCO, Leonan Hodoni. **Fator humano em acidentes aeronáuticos**. Orientador: Prof. Joel Irineu Lohn, 2019. 43 f. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/4906b136-8e6d-4684-9dcf-e41e7818d6fc> Acesso em: 20 nov. 2023.

ENTENDA o que significa velocidade Mach 1, Mach 2.... **Aerocurso.com**, 2012. Disponível em: <https://www.aerocurso.com/?r=noticia/view&id=542>. Acesso em: 06 out. 2023.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Runway Status Lights Pilot Reference Guide**, 2015. Disponível em: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/technology/rwsl/pet/](https://www.faa.gov/air_traffic/technology/rwsl/pet/). Acesso em: 10 nov. 2023.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Runway Status Lights System Description**, 2018. Disponível em: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/technology/rwsl/description/](https://www.faa.gov/air_traffic/technology/rwsl/description/). Acesso em: 11 nov. 2023.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION **Runway Status Lights Questions and Answers**, 2020. Disponível em: [https://www.faa.gov/air\\_traffic/technology/rwsl/faqs/](https://www.faa.gov/air_traffic/technology/rwsl/faqs/). Acesso em: 20 nov. 2023.

FERREIRA, Josué Catharino. **Um breve histórico da aviação comercial brasileira**. XII Congresso Brasileiro De História Econômica, 2017. Disponível em: <https://www.abphe.org.br/uploads/ABPHE%202017/16%20Um%20breve%20hist%C3%B3rico%20da%20avia%C3%A7%C3%A3o%20comercial%20brasileira.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA. Segundo Serviço Regional de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos: Boletim Informativo de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos da Região Nordeste. **PreviNE**, 2013. Disponível em: <https://www2.fab.mil.br/seripa2/images/previne/Previne-n-12---Pouso-com-vento-cruzado.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2023.

GRU, Aeroporto. **Informações Operacionais**: Resumo de movimentação aeroportuária - RMA. GRU Airport, 2023. Disponível em: <https://www.gru.com.br/pt/institucional/sobre-gru-airport/informacoes-operacionais>. Acesso em: 16 nov. 2023.

HISTÓRICO de Voos. **Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC)**, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/historico-de-voos>. Acesso em: 11 nov. 2023.

JAMES, Callan. **Multilateration: Radar's Replacement?**. **Avionics International**, 2007. Disponível em: <https://www.aviationtoday.com/2007/04/01/multilateration-radars-replacement/>. Acesso em: 12 nov. 2023.

JIANG, Li *et al.* Study on Installation of Runway Status Lights. **Journal of Physics: Conference Series**, 2022. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2185/1/012015/pdf>. Acesso em: 10 nov. 2023.

LICHMANN, Wesley. Conheça os aeroportos mais movimentados da América Latina. **Aero Magazine**, 2023. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/conheca-os-aeroportos-mais-movimentados-da-america-latina.html>. Acesso em: 16 nov. 2023.

MAZZOTTO, Camila; FRANÇA, Bernardo. Desastre de Tenerife: conheça o acidente aéreo mais fatal da história. **Revista Galileu**, 2021. Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Sociedade/Historia/noticia/2021/03/desastre-de->

tenerife-conheca-o-acidente-aereo-mais-fatal-da-historia.html. Acesso em: 10 out. 2023.

MCNERNEY, Michael Mcnerney. **Runway Status Lights System: Engineering Brief #64D**. Federal Aviation Administration Airport Engineering Division, 2011. Disponível em:

[https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/airports/engineering/engineering\\_briefs/EB-64d.pdf](https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/airports/engineering/engineering_briefs/EB-64d.pdf) Acesso em: 10 nov. 2023.

MILESKI, André. O surgimento da aviação de baixo custo. **Super Interessante**, 2020. Disponível em: <https://super.abril.com.br/especiais/o-surgimento-da-aviacao-de-baixo-custo>. Acesso em: 08 out. 2023.

MÜLLER, Cristian. **Método de multilateração para algoritmos de localização em redes de sensores sem fio**. Orientador: Prof. Dr. João Baptista dos Santos Martins., 97 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade de Santa Catarina – Santa Maria, 2014. Disponível em:

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5456/MULLER%2c%20CRISTIAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 19 nov. 2023.

OFFICE OF MARKETING & CONSUMER STRATEGY, **Air Traffic Statistics: June 2023**. Metropolitan Washington Airports Authority, 2023. Disponível em:

<https://www.mwaa.com/sites/mwaa.com/files/2023-09/623%20ATS%20%288.10.23%29.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.

O QUE É KTS na aviação?. **Vivendo Bauru**, 2023. Disponível em:

<https://www.vivendobauru.com.br/o-que-e-kts-na-aviacao/>. Acesso em: 19 nov. 2023.

PARETA, Renato. **Radares e Transponders: advento, operação e contribuição para o tráfego aéreo**. Orientador: Prof. Esp. Marcos Fernando Severo de Oliveira., 2023, 49 f. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2023. Disponível em: <https://repositorio-api.animaeducacao.com.br/server/api/core/bitstreams/7daf181b-fab1-4442-addc-e81c5cf667dc/content>. Acesso em: 19 nov. 2023.

PANYNJ, **Monthly 2023 Statistics: John F. Kennedy International Airport June**. Port Authority of New York and New Jersey, 2023. Disponível em:

<https://www.panynj.gov/airports/en/statistics-general-info.html>. Acesso em: 16 nov. 2023.

RODRIGUES, Knupp Jorge Luiz *et al.* Gestão e desafios da infraestrutura aeroportuária brasileira: dificuldades operacionais para a realização de grandes eventos. **Revista Científica Hermes** n. 11, p. 47-66, jun.- dez., 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4776/477647158003.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SILVA JUNIOR, Adolfo Aleixo da Silva. **Aeródromos - Sumário Estatístico 2010-2019**. Brasília: Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CENIPA), 2021.

TABACHNICK, Cara. **What to know about the recent close calls on airport runways**. CBS news, 2023. Disponível em: <https://www.cbsnews.com/news/runway-incursions-near-misses-airport-runways-whats-happening/>. Acesso em: 16 nov. 2023.

TEIXEIRA, Cláudio Henrique. **Cultura e segurança de voo**: investigação de procedimentos padronizados de CRM-Crew Resource Management para tripulações em diferentes culturas. FUMEC, 2018. Disponível em: <https://repositorio.fumec.br/xmlui/handle/123456789/136>. Acesso em: 10 nov. 2023.

UBIRATAN, Edmundo. A evolução dos instrumentos de navegação. **Aero Magazine**, 2023. Disponível em: <https://aeromagazine.uol.com.br/artigo/a-evolucao-dos-instrumentos-de-navegacao.html>. Acesso em: 19 nov. 2023.

## **BIODADOS**

Arthur Fernandes Monteiro

Graduando em Ciências Aeronáuticas pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás.  
E-mail: arthurmont13@gmail.com

Humberto César Machado

Professor Orientador. Pós Doutor em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC GO (2016); Doutor em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC GO (2013); Mestre em Psicologia pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás - PUC GO (2006), Especialista em História pela Universidade Federal de Goiás - UFG (2002), Graduado em Filosofia pela Universidade Federal de Goiás (1996), Graduado em Pedagogia pela ISCECAP (2018), Graduado em Letras pela FAFIBE (2019), Membro do Comitê de Ética e Pesquisa e Professor do Centro Universitário Alfredo Nasser - UNIFAN e professor da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC - GO)

E-mail: humberto.cesar@hotmail.com