
Sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista: impactos para a segurança operacional na aviação civil

Claudia Silveira da Cunha¹, Ana Luiza Duarte do Vale Duarte², Erick Coelho Costa³

1 claudiasc@fumec.br

2 analuizaduartedovale@gmail.com

2 erickcoelho2203@gmail.com

RESUMO: As incursões em pista são eventos que envolvem o ingresso inapropriado de aeronaves, veículos ou pessoas em uma pista de pouso e decolagem. Trata-se de uma séria ameaça à segurança operacional da aviação civil dado o potencial catastrófico de suas ocorrências. Para lidar com tal fenômeno, a comunidade aeronáutica tem visado defesas tecnológicas que, a partir do princípio de vigilância de superfície, são capazes de oferecer informações e alertas úteis aos pilotos, controladores e motoristas de aeroportos nos momentos e locais em que uma incursão pode ocorrer. Dessa maneira, a presente pesquisa tem como objetivo geral analisar os impactos para a segurança operacional na aviação civil com a implementação de sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista. Com relação aos métodos científicos, a pesquisa possui uma natureza básica, com uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e quanto aos procedimentos é bibliográfica e documental. O estudo evidenciou que a tecnologia baseada em vigilância é capaz de evitar vários cenários que causam incursões através do fornecimento do status de ocupação de uma pista diretamente aos pilotos e motoristas ou a partir da detecção de conflitos e emissão de alertas aos controladores de tráfego aéreo. Conclui-se que tais mecanismos representam uma defesa robusta para o erro humano e a exploração de suas potencialidades é capaz de trazer ganhos consideráveis para a segurança operacional da aviação civil, contribuindo para torná-la mais preparada para lidar com as ameaças que a permeiam.

Palavras Chave: 1. Segurança Operacional. 2. Aviação Civil. 3. Tecnologia. 4. Ocupação de pista. 5. Pilotos.

Systems based on airport surface surveillance for the prevention of runway incursion: impacts on operational safety in civil aviation

ABSTRACT: Runway incursions are events involving the inappropriate entry of aircraft, vehicles, or persons onto a runway. It is a serious threat to the operational safety of civil aviation given the catastrophic potential of its occurrences. To deal with this phenomenon, the aeronautical community has been aiming for technological defenses that, based on the principle of surface surveillance, are able to provide useful information and alerts to pilots, controllers and airport drivers at the moments and places where an incursion may occur. Thus, the present research has the general objective to analyze the impacts for operational safety in civil aviation with the implementation of systems based on airport surface surveillance for the prevention of runway incursion. As for the scientific methods, the research has a basic nature, with a qualitative approach, of exploratory character, and as for the procedures, it is bibliographic and documental. The study showed that surveillance-based technology is capable of preventing various scenarios that cause incursions by providing the occupancy status of a runway directly to pilots and drivers or by detecting conflicts and issuing alerts to air traffic controllers. It is concluded that systems based on airport surface surveillance for runway incursion prevention represent a robust defense against human error and the exploitation of the potential of these mechanisms is capable of bringing considerable gains for the operational safety of civil aviation, contributing to make it more prepared to deal with the threats that permeate it.

Key words: 1. Operational Safety. 2. Civil Aviation. 3. Technology. 4. Runway Occupation. 5. Pilots.

Citação: Cunha, CSC, Duarte, ALDVD, Costa, ECC (2023). Sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista: impactos para a segurança operacional na aviação civil. *Revista Conexão Sipaer*, Vol. 13, N.º. 2, pp. 59-69.

1 INTRODUÇÃO

A atividade aérea, por sua natureza, é permeada por várias formas de perigo e a continuidade das operações depende da busca constante pela garantia da segurança. Nesse contexto, Byrne (2017) aponta que uma das ocorrências mais arriscadas na aviação consiste na colisão entre aeronaves. Deste modo, é natural considerar que tal fenômeno possui grande probabilidade de ocorrer quando as aeronaves estão operando com proximidade elevada, o que ocorre, por exemplo, quando elas estão ainda em solo, nos aeroportos.

De acordo com Jones e Young (2001), o crescimento do tráfego aéreo culminou no congestionamento da superfície de aeroportos, bem como no aumento da complexidade da configuração de pistas e *taxiways*, tornando mais difícil a separação entre os aviões em solo. Nesse cenário, Byrne (2017) destaca que há a possibilidade de mais de uma aeronave tentar utilizar uma

mesma pista de forma simultânea, caracterizando uma incursão em pista – fenômeno capaz de criar riscos não somente aos pilotos e passageiros, mas também aos motoristas e funcionários que atuam no ambiente aeroportuário.

Compreende-se na presente pesquisa o conceito de incursão em pista definido pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) (2016, p. 1-15) como “qualquer ocorrência em um aeródromo envolvendo a presença incorreta de uma aeronave, veículo ou pessoa na área protegida de uma superfície designada para pouso e decolagem de aeronaves”. Cabe destacar que esta ocorrência requer devida atenção, uma vez que a incursão em pista representa um risco à segurança operacional na medida em que pode desencadear um incidente ou acidente aeronáutico que podem levar a danos materiais, lesões e fatalidades.

Para Jones e Young (2001), tradicionalmente, a separação entre aeronaves em um aeroporto é realizada partindo do princípio de “ver e evitar”, em que pilotos e controladores utilizam pistas visuais para evitar situações de conflito entre aeronaves e veículos. Neste âmbito, acrescentam-se ainda algumas medidas para a prevenção de incursão em pista recomendadas pela Icao mediante o documento emitido no ano de 2007, intitulado *Manual on the Prevention of Runway Incursions*. Tais medidas são amplamente implementadas em aeroportos de todo o mundo e consistem, majoritariamente, em marcações e sinalizações de pistas e *taxiways*, padronização da fraseologia e melhores práticas dentro da cabine de comando. Entretanto, segundo Simão (2010, p. 61), “a prática tem mostrado que todas essas barreiras muitas vezes não são suficientes para evitar que o erro humano aconteça”.

De acordo com Kuffner e Perkins (2009), deve ser empregada uma abordagem em camadas da segurança das operações em uma pista, de modo a considerar a consciência situacional baseada em vigilância, alertas de conflito para o controlador e informações de *status* da pista apresentadas diretamente às tripulações nos momentos e locais em que uma incursão em pista pode ocorrer.

Desse modo, conforme apontam Möller e Schönefeld (2012), é importante observar que a capacidade de prevenir uma incursão em pista, em tempo hábil, depende diretamente do sistema de vigilância que fornece informações para as pessoas que estão lidando com a incursão. Ainda, destaca-se que sistemas de vigilância compreendem recursos tecnológicos capazes de proverem uma cobertura radar total ou parcial da superfície de um aeroporto e, então, fornecerem informações e alertas úteis para que pilotos, controladores e motoristas possam identificar, reagir e evitar cenários capazes de provocar uma incursão em pista. Nesse aspecto, inserem-se o *Runway Status Lights* (RWSL), o *Aerodrome Surface Detection Equipment, Model X* (ASDE-X) e o *Final Approach Runway Occupancy Signal* (FAROS).

Segundo Mrazova (2014, p. 71), a segurança das operações nas pistas de um aeroporto é um componente vital da segurança da aviação como um todo e com o esperado crescimento no tráfego aéreo, o número absoluto de incidentes está fadado a aumentar, a menos que seja controlado por soluções pragmáticas e sensatas.

Assim, é fundamental para a comunidade aeronáutica, o estudo acerca de barreiras capazes de prevenir a ocorrência de incursões em pista. De acordo com Simão (2010, p. 61), “a tecnologia tem se revelado como a última salvaguarda para evitar que as temidas *runway incursions* se transformem em acidentes de dimensões catastróficas”. Nesse quadro, destacam-se os sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos como uma defesa tecnológica que visa contribuir para a segurança operacional da aviação.

Diante do exposto, o objetivo geral do presente artigo consiste em analisar os impactos para a segurança operacional na aviação civil com a implementação de sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista. Assim, no intuito de contemplar o objetivo geral exposto e o percurso metodológico, definiu-se os respectivos objetivos específicos: apreender o conceito de segurança operacional na aviação civil; pesquisar sobre o conceito de incursão em pista, abordando seus fatores contribuintes; analisar os principais sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista e identificar os impactos para a segurança operacional na aviação civil com a implementação de sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista.

2 METODOLOGIA

Com relação aos métodos científicos, a pesquisa possui natureza básica que, por sua vez, é definida por Gerhardt e Silveira (2009, p. 34) como aquela pesquisa que “objetiva gerar conhecimentos novos, úteis para o avanço da Ciência, sem aplicação prática prevista”. Assim, o artigo possui o objetivo de gerar conhecimento através de pesquisas associadas às generalidades de incursões em pista, bem como acerca de sistemas para a sua prevenção baseados no princípio da vigilância de superfície de aeroportos.

Quanto à abordagem, a pesquisa é qualitativa. Desse modo, segundo Gil (2008), não há abordagem numérica ou através de variáveis matemáticas, mas sim uma análise subjetiva dos dados encontrados, tais como conceitos de segurança operacional, incursões em pista e possíveis formas de prevenção de tal ocorrência a partir da tecnologia.

Quanto aos objetivos, a pesquisa tem caráter exploratório. Conforme Gil (2002, p. 41), estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema: Quais os impactos para a segurança operacional na aviação civil com a implementação de sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista?, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses, bem como fomentar discussões sobre o fenômeno de pesquisa. Nesse

sentido, foram estudados possíveis impactos de defesas tecnológicas para a prevenção de incursões em pista e sua influência para a segurança operacional na aviação civil.

Quanto aos procedimentos metodológicos, a pesquisa é de caráter bibliográfico e documental. De acordo com Gil (2002, p. 44), “a pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Assim, foram consultados artigos de autores na área de segurança tais como Millam (2017), e Villas Bôas (2014); e nos estudos de incursões em pista como Möller e Schönefeld (2012), Mrazova (2014), Jones e Young (2001) e Simão (2010). Quanto ao aspecto documental, Lakatos e Marconi (2003, p. 173) consideram que “a característica da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, escrita ou não, constituindo o que se denomina de fontes primárias”. Desse modo, foram usados documentos emitidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), *Federal Aviation Administration* (FAA), Icao, *Transport Canada*, dentre outros.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Segurança operacional na aviação civil

A Convenção de Chicago, ocorrida no ano de 1944, representou um importante marco para a aviação. Na ocasião, 54 países compareceram ao evento que culminou na criação da Icao – organização que surgiu com o objetivo de possibilitar o crescimento da aviação civil internacional de uma maneira segura e ordenada (ICAO, 2019, p. 9). Assim, buscava-se a maior padronização possível entre os países signatários quanto aos regulamentos, procedimentos e organização do transporte aéreo.

Frente a isso, a Icao considera que o conceito de segurança operacional consiste no “estado em que os riscos associados com atividades da aviação, relacionados ou em suporte direto à operação de aeronaves, são reduzidos e controlados a um nível aceitável” (ICAO, 2018, p. 2-1). Nesse sentido, é preciso ressaltar que a acelerada expansão do transporte aéreo fez com que a indústria do setor reunisse sucessivos esforços no intuito de mitigar todos os fatores que pudessem afetar o desenvolvimento seguro de uma área bastante dinâmica como a aviação. Para Millam (2017, p. 1):

o trabalho investigativo de acidentes amadureceu, assim como a capacidade da indústria em capturar dados para orientar essas investigações para que possam produzir mitigações robustas, que foram aplicadas em melhores tecnologias, procedimentos e treinamento (MILLAM, 2017, p. 1).

Como consequência, tornou-se possível compreender o amadurecimento da segurança operacional na aviação. Para a Icao (2018), essa evolução envolve quatro etapas: Era Técnica, Era dos Fatores Humanos, Era Organizacional e Era do Sistema Total. Ressalta-se que cada uma dessas ênfases se associa a uma época específica, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1 - Etapas de evolução da segurança operacional. (Fonte: Elaborado pelos autores, 2021).

A Era Técnica foi predominante desde os primórdios da aviação até o fim da década de 1960. Durante esse período, as principais ameaças à segurança operacional consistiam em fatores técnicos e falhas tecnológicas, de modo que os esforços da indústria buscavam aprimorar a confiabilidade da máquina (ICAO, 2018). Já a Era dos Fatores Humanos teve início na década de 1970 e passou a levar em consideração os indivíduos atuantes no setor aeronáutico, assim, conforme Villas Bôas (2014), novos aspectos ganharam notoriedade, tais como a interação entre indivíduos e máquinas, trabalho em equipe e consciência situacional.

A Era Técnica foi predominante desde os primórdios da aviação até o fim da década de 1960. Durante esse período, as principais ameaças à segurança operacional consistiam em fatores técnicos e falhas tecnológicas, de modo que os esforços da indústria buscavam aprimorar a confiabilidade da máquina (ICAO, 2018). Já a Era dos Fatores Humanos teve início na década de 1970 e passou a levar em consideração os indivíduos atuantes no setor aeronáutico, assim, conforme Villas Bôas (2014), novos aspectos ganharam notoriedade, tais como a interação entre indivíduos e máquinas, trabalho em equipe e consciência situacional.

Quanto a Era Organizacional, a partir de meados da década de 1990, a segurança operacional tomou uma abordagem mais ampla. Conforme a *Civil Aviation Safety Authority (CASA)* (2019), verificou-se a influência de fatores técnicos, operacionais e organizacionais sobre o erro humano. Além disso, a Icao (2018) destaca o surgimento de políticas proativas de monitoramento de ameaças adotadas por organizações do setor aéreo.

Por fim, a partir do século XXI, iniciou-se a Era do Sistema Total. Segundo Batuwangala, Silva e Wild (2018), essa perspectiva considera toda a indústria da aviação como um sistema e suas entidades como subsistemas que devem ser compreendidos e gerenciados para fins de controle de desempenho da segurança. Ainda, conforme a Icao (2018), as organizações do setor aéreo passaram a adotar o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO), que visa designar a estrutura mínima organizacional necessária de cada operador aéreo, bem como suas políticas, responsabilidades e procedimentos adequados para a administração da segurança operacional.

3.2 SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DA SEGURANÇA OPERACIONAL

A implementação dos Sistemas de Gerenciamento da Segurança Operacional ocorreu através da Icao em 1º de janeiro de 2009, mediante a criação do Anexo 19. O respectivo anexo determina que cada Estado signatário deve adotar um *State Safety Programme (SSP)*, traduzido no Brasil como Programa de Segurança Operacional (PSO). Desse modo, os Estados foram instruídos a desenvolver e adotar práticas de gestão de segurança de uma forma institucionalizada, que devem ser seguidas pelos seus provedores de serviço na área de aviação através de um SGSO. Para a Anac (2018, p. 1),

com o SGSO, o conceito de segurança de voo amplia-se para uma abordagem sistêmica e ampla, considerando todos os aspectos que envolvem a segurança na operação de uma aeronave e promovendo a melhoria contínua dos níveis de segurança (ANAC, 2018, p. 1).

Nesse sentido, conforme a Icao (2018), o SGSO de uma organização deve visar o aprimoramento da segurança a partir da identificação de perigos e gerenciamento de riscos, de modo a mantê-los em um nível aceitável. Para melhor compreensão, a Anac (2019, p. 8), define perigo como “uma condição, objeto ou atividade que potencialmente pode causar lesões às pessoas, danos a bens (equipamentos ou estruturas), perda de pessoal ou redução da habilidade para desempenhar uma função determinada”. Na aviação, são exemplos de perigos: o não cumprimento de um *checklist*, a presença de um tráfego conflitante na pista de pouso e decolagem, as condições meteorológicas degradadas, dentre outros.

Já o risco é definido como “a avaliação das consequências de um perigo, expressa em termos de probabilidade e severidade, tomando como referência a pior condição possível” (ANAC, 2019, p. 15). Assim, de acordo com Stolzer, Halford e Goglia (2008), enquanto os perigos se referem às potencialidades abstratas, o risco lida com as consequências e sua probabilidade de ocorrer.

A análise e o gerenciamento dos riscos devem ser feitos após a devida identificação das consequências dos perigos. Basicamente, o SGSO deve analisar o risco com base em sua probabilidade e severidade, visando priorizar as ações de mitigação para os maiores riscos identificados. Partindo disso, obtêm-se a matriz de tolerância ao risco, que classifica cada um dos riscos identificados como aceitável (região verde da matriz), tolerável (região amarela) ou inaceitável (região vermelha), como demonstrado pelo Quadro 1.

			<i>Severidade</i>				
			A	B	C	D	E
			catastrófica	crítica	significativa	pequena	insignificante
<i>Probabilidade</i>	5	Frequente	5A	5B	5C	5D	5E
	4	Ocasional	4A	4B	4C	4D	4E
	3	Provável	3A	3B	3C	3D	3E
	2	Improvável	2A	2B	2C	2D	2E
	1	Extremamente improvável	1A	1B	1C	1D	1E

Quadro 1 – Matriz de tolerância ao risco (Fonte: Anac, 2019).

Destaca-se ainda que, na medida em que a concepção de segurança se amplia para todos os níveis de uma organização, fica evidente que os acidentes e incidentes não são provocados por um fator isolado, mas sim por uma série de condições interligadas que são capazes de trazer consequências indesejáveis. Além disso, com o SGSO, a comunidade aeronáutica passou a buscar, de forma integrada e proativa, a identificação e tratativa de todas as formas de perigo capazes de trazer riscos à atividade aérea como um todo. Nesse sentido, destaca-se a relevância das incursões em pista – fenômeno citado de forma recorrente pela literatura como uma ocorrência capaz de proporcionar consequências catastróficas e que, portanto, deve ser bem compreendido.

3.3 Incurções em pista: um problema e um risco potencial

Assim como toda ocorrência aeronáutica de risco, as incursões em pista podem ser consequência de diversos fatores. Conforme Stroeve et al. (2016), muitas variáveis são relevantes nas operações de pouso, decolagem e táxi, tais como a posição e deslocamento das aeronaves, consciência situacional dos pilotos e comunicação entre as tripulações e o controle de tráfego aéreo. Portanto, uma incursão em pista pode surgir de diferentes maneiras considerando a multiplicidade de eventos que ocorrem no ambiente aeroportuário.

Para Hudson (2005 *apud* Simão, 2010), grande parte dos fatores contribuintes para a ocorrência de uma incursão em pista podem ser agrupados em três aspectos principais que podem interagir entre si, sendo eles: a cabine de comando, a infraestrutura aeroportuária e o controle de tráfego aéreo.

3.3.1 Cabine de commando

- Falhas de comunicação:
 - Cotejamento incorreto, incompleto ou ausente;
 - congestionamento ou bloqueio da frequência de rádio;
 - prefixos de chamada semelhantes;
 - falta de aplicação do *Crew Resource Management* (CRM).
- Consciência situacional deficiente:
 - Desconhecimento de sua própria localização, posição de outros tráfegos e rota de táxi autorizada pelo controlador (JONES; YOUNG, 2001);
 - realização de tarefas não pertinentes durante o táxi;
 - baixa familiaridade com o aeroporto.

3.3.2 Infraestrutura aeroportuária

- Complexidade do *layout* aeroportuário;
- *Hot spots*: locais com alta probabilidade de ocorrência de uma incursão em pista;
- *incursões geradas por pessoas*;
- conflitos gerados por motoristas em virtude de erros associados aos fatores humanos.

3.3.3 Controle de tráfego aéreo

- Falhas de memória;
- falta de coordenação;
- baixa consciência situacional;
- falhas de comunicação;
- falhas nos processos de planejamento e tomada de decisão.

3.4 Sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista: funcionamento e aplicabilidade

A recorrência de incursões em pista observada pela indústria aeronáutica ao longo dos anos tem levado o setor a buscar por defesas tecnológicas capazes de elevar a consciência situacional de todos os indivíduos envolvidos nos deslocamentos pela superfície aeroportuária e, assim, manter tais operações em um nível aceitável de segurança.

Conforme Möller e Schönefeld (2012), a prevenção de uma incursão em pista, além de depender das barreiras que evitem a entrada inadvertida de uma aeronave ou veículo em uma pista ativa, deve ainda considerar a capacidade de detectar tais eventos quando estiverem na iminência de ocorrer para então viabilizar ações corretivas que impeçam, ou ao menos minimizem possíveis

danos. Nesse sentido, Eggert (1994) considera que um importante passo para assegurar a segurança e o controle efetivo do tráfego em um aeroporto é a melhoria da vigilância, principalmente quando esta é suportada por tecnologias que auxiliem o trabalho do ser humano mediante o fornecimento direto de informações úteis para fins de segurança.

Nessa abordagem, Möller e Schönefeld (2012, p. 34) explicam que a tecnologia atua fornecendo proteções contra as causas de uma incursão e emitindo alarmes sempre que tal evento ocorrer. Por exemplo, um sistema baseado em vigilância pode fornecer informações ou alertas que impeçam que um controlador autorize mais de uma aeronave a utilizar a mesma pista. Outra capacidade de sistemas dessa natureza é fornecer informações diretamente aos pilotos e motoristas quanto ao *status* de ocupação de uma pista, de modo a indicar os momentos em que é seguro utilizá-la.

Nesse contexto, a partir do início dos anos 2000, sistemas de vigilância de superfície como o ASDE-X, o RWSL e o Faros surgiram com o objetivo de acrescentar camadas de proteção às operações nas áreas de movimento de um aeroporto, com foco principal em prevenir a ocorrência de incursões em pista.

3.4.1 *Aerodrome Surface Detection Equipment, Model X (asde-x)*

O ASDE-X é um sistema de vigilância de superfície implementado no ano de 2003 pela empresa norte-americana *Saab Sensis Corporation* através de um contrato firmado em conjunto com a FAA. O principal objetivo de sua aplicação é auxiliar os controladores a detectarem potenciais conflitos, nas pistas de pouso e decolagem, através da cobertura radar detalhada do movimento de aeronaves e veículos no ambiente aeroportuário.

Para isso, conforme a FAA (2018), o ASDE-X obtém informações do fluxo de tráfego a partir de um radar de movimento de superfície instalado no topo da torre de controle (TWR) e também através de antenas interrogadoras e sensores *Automatic Dependent Surveillance – Broadcast (ADS-B)* distribuídos pelo aeroporto. Desse modo, o sistema consegue rastrear e identificar, com precisão, todas as aeronaves e veículos equipados com um *transponder* em funcionamento que estiverem dentro de sua área de cobertura, que envolve os pátios, pistas, *taxiways* e, também, os setores de aproximação final dentro de uma distância de cinco milhas, como ilustrado na Figura 2.

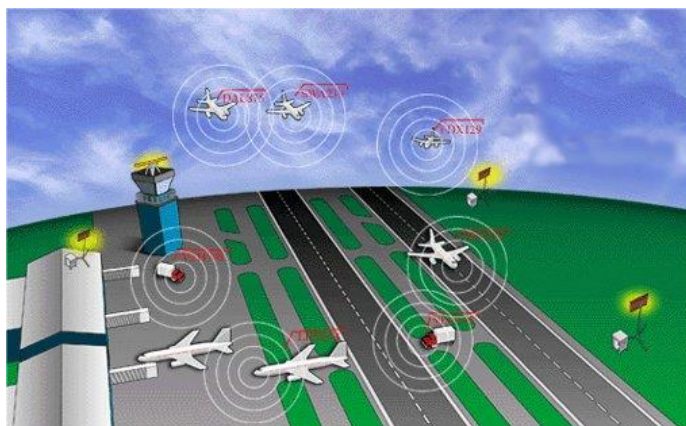


Figura 2 – Funcionamento do ASDE-X (Fonte: ATC Network, 2010).

Ainda, segundo a FAA (2018), o ASDE-X exibe aos controladores na TWR, por meio de um monitor, a localização e identificação de todos os tráfegos detectados, em que estes são representados, em tempo real, como ícones sobrepostos em um mapa colorido referente ao aeroporto.

Para a prevenção de incursões em pista ou demais conflitos na superfície aeroportuária, o ASDE-X também conta com um algoritmo de *software* denominado *ASDE-X Safety Logic (AXSL)*. Essa ferramenta processa continuamente as posições atuais e projetadas de cada aeronave ou veículo, de modo a determinar se a evolução dos movimentos possui potencial de levar a uma colisão. Quando esse tipo de evento é detectado, são fornecidos alarmes visuais e aurais aos controladores a partir do *display* do sistema, que também destaca a identificação e posição dos tráfegos envolvidos (FAA, 2018). Com isso, o controlador pode emitir instruções via rádio aos pilotos ou motoristas com o objetivo de resolver o conflito antes que este evolua para um acidente ou incidente.

3.4.2 *Runway Status Lights (RWSL)*

O RWSL é um sistema desenvolvido sob solicitação da FAA pelo *Lincoln Laboratory*, um centro de pesquisas filiado ao *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, e inicialmente implementado no ano de 2003. Trata-se de um mecanismo totalmente autônomo que visa reduzir a quantidade e severidade de incursões em pista ao prover, diretamente aos pilotos e motoristas, informações imediatas sobre o *status* de ocupação de uma pista através do acionamento ou desligamento de luzes vermelhas instaladas em seu pavimento e em *taxiways* adjacentes.

Conforme a FAA (2008), o RWSL é composto por um processador próprio e por um sistema de luzes denominado *Field Lightning System (FLS)*. Desse modo, o processador utiliza dados de um sistema de vigilância independente já instalado no

aeroporto, como por exemplo, o ASDE-X, para detectar a movimentação de aeronaves e veículos na superfície de uma pista ou em suas proximidades e, em seguida, controlar as luzes do FLS de modo que estas acendam e apaguem nos momentos e locais corretos. Nesse contexto, o FLS compreende as *Runway Entrance Lights* (RELs), as *Takeoff Hold Lights* (THLs) e as *Runway Intersection Lights* (RILs), conforme representado na Figura 3.

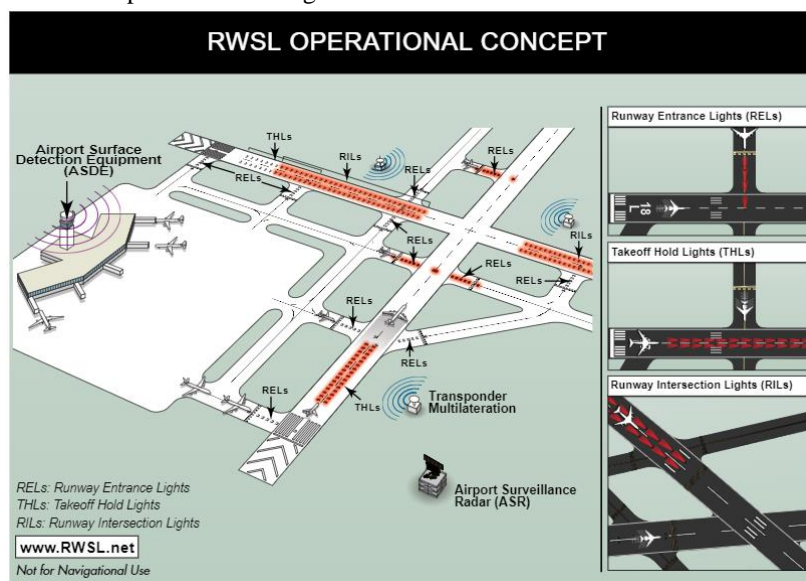


Figura 3 – Funcionamento do RWSL (Fonte: MIT, 2010).

Segundo o MIT (2012), as RELs são instaladas nas interseções entre uma pista e uma *taxiway* e iluminam-se quando não é seguro realizar o ingresso ou cruzamento da pista em virtude de sua ocupação por uma aeronave decolando ou pousando. De forma similar, as THLs são instaladas nas extremidades de uma pista, ao longo de seu eixo, e podem ser visualizadas pelos pilotos de uma aeronave alinhada na posição de decolagem enquanto a pista estiver ocupada por outro tráfego. Ainda, as RILs são inseridas nas proximidades de cruzamentos entre pistas, desta forma, o seu acionamento indica que há um elevado potencial de conflito na interseção, o que pode ocorrer quando há aeronaves pousando ou decolando simultaneamente em cada uma dessas pistas.

No contexto operacional, a FAA (2015) aponta que, sempre que as luzes estiverem acesas, os pilotos e/ou motoristas devem parar imediatamente e manter posição mesmo se possuírem autorização do órgão de controle para prosseguir com o deslocamento. No entanto, destaca-se que a desativação das luzes não deve ser interpretada como uma permissão imediata para o ingresso, cruzamento ou decolagem a partir de uma pista, posto que estas operações devem sempre ser condicionadas ao consentimento de um controlador.

3.4.3 *Final Approach Runway Occupancy Signal* (FAROS)

O Faros é um sistema desenvolvido pelo MIT e inicialmente implementado no ano de 2008, encontrando-se, atualmente, sob fase de testes e avaliações pela FAA. Segundo Hellenberg (2005), tal mecanismo tem o objetivo de indicar o *status* de ocupação de uma pista diretamente às tripulações de aeronaves nos setores de aproximação final para pouso, o que é feito a partir da emissão de *flashes* pelo *Precision Approach Path Indicator* (PAPI).

Conforme descrito pela FAA (2019), o Papi é um sistema cuja função primária é oferecer uma guia visual da trajetória de planeio (em inglês, *glideslope*) que os pilotos devem seguir durante a aproximação para pouso. Esse equipamento é geralmente instalado à esquerda da pista e compreende uma série de quatro luzes dispostas lado a lado que podem ser vistas a uma distância de três milhas durante o dia e 20 milhas durante a noite. Assim, quando em operação, as luzes podem ser observadas pelos pilotos como brancas e/ou vermelhas indicando a posição da aeronave em relação ao *glideslope* ideal.

O funcionamento do Faros é similar à operação do RWSL, uma vez que ele processa as informações de um sistema de vigilância independente já utilizado pelo aeroporto. Dessa forma, segundo Kuffner e Perkins (2009), o mecanismo é ativado sempre que são detectados, simultaneamente, uma aeronave ou veículo na pista e uma aeronave na aproximação final a 500 pés de altura ou menos; em seguida, as luzes do Papi piscam de forma intermitente para os pilotos em voo e, ainda, é emitido um alerta aural para os controladores na TWR indicando a pista em que o conflito ocorrer.

Diante das informações apresentadas e com o intuito de uma melhor compreensão, o Quadro 2 sintetiza a descrição dos três sistemas estudados.

Sistema	Desenvolvedor	Ano inicial de implementação	Finalidade	Aplicação
ASDE-X	<i>Saab Sensis Corporation</i>	2003	Aumentar a consciência situacional dos controladores	Exibição, em um <i>display</i> , de todos os tráfegos detectados e emissão de alertas de conflito
RWSL	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>	2003	Indicar o <i>status</i> de ocupação de uma pista aos pilotos e motoristas em solo	Acionamento autônomo de luzes nos pavimentos de pistas e <i>taxiways</i>
FAROS	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>	2008	Indicar o <i>status</i> de ocupação de uma pista aos pilotos nos setores de aproximação final	Indicações realizadas através da emissão de <i>flashes</i> pelo Papi

Quadro 2 – Descrição do ASDE-X, RWSL e Faros (Fonte: Elaborado pelos autores, 2021).

Dessa forma, a partir do conhecimento de aspectos associados ao funcionamento, finalidade e forma de aplicação de cada um desses mecanismos, torna-se oportuno a realização de uma análise acerca de seus impactos para a segurança da aviação civil.

3.5 Impactos para a segurança operacional na aviação civil com a implementação de sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista

Sob a óptica da segurança operacional, a busca por defesas que visam tornar o transporte aéreo mais robusto para lidar com as diversas ameaças que o permeiam deve ser valorizada como uma parte integrante da evolução do meio aeronáutico como um todo. Além disso, é fundamental que todas essas barreiras sejam analisadas de forma contínua para que seja possível compreender suas potencialidades e limitações.

Conforme Möller e Schönefeld (2012), um sistema de vigilância que visa à prevenção de uma incursão em pista deve ser capaz de elevar os níveis de consciência situacional de pilotos, controladores e motoristas, haja vista que praticamente nenhuma tripulação ou operador de veículo ingressa em uma pista ativa intencionalmente nos momentos em que esta é utilizada por outro tráfego. Com isso, Jones e Young (2001, p. 4) estimam que o incremento da consciência situacional dos indivíduos envolvidos nos deslocamentos em solo pode reduzir as taxas de ocorrência de incursões em pista em até 80%.

Nesse contexto, reforça-se que os pilotos, controladores e motoristas, dentro de sua área de atuação, devem ter ciência de informações como a sua posição, a localização de outros tráfegos e o *status* de ocupação de uma pista. Segundo Möller e Schönefeld (2012), ao prover esse tipo de informação, sistemas baseados em vigilância são capazes de minimizar erros que levam às incursões. Ainda, os erros remanescentes são identificados por essas tecnologias e, dependendo da gravidade das consequências desses desvios, um aviso ou alerta é emitido, bem como ocorre durante as operações com o ASDE-X, RWSL e Faros.

O ASDE-X é um mecanismo capaz de evitar erros de controladores decorrentes do esquecimento de uma aeronave ou de dificuldades em visualizar e identificar certo tráfego em ambientes com barreiras físicas, iluminação precária ou condições meteorológicas adversas. Ademais, o sistema emite alertas diretamente aos controladores sempre que uma iminente colisão é detectada pelo algoritmo AXSL, permitindo certa agilidade no reconhecimento de situações de risco.

Em contrapartida, Eggert et al. (2006, p. 128) apontam que apenas cerca de 20% dos incidentes envolvendo incursões se desenvolvem de forma devagar o suficiente para acomodarem um sistema de vigilância capaz de detectar o evento e emitir alertas que, em seguida, são usados pelo órgão de controle para a emissão de orientações que resolvam o conflito em tempo hábil. Nos demais casos, os cenários tendem a evoluir de forma mais rápida, de modo que uma mediação pelo controlador não é viável e a

forma mais eficaz de prevenção de uma possível colisão consiste em alertas apresentados diretamente aos pilotos e motoristas, o que vai de encontro ao princípio de funcionamento do RWSL e do Faros.

O RWSL é um sistema que tem sido tratado como uma tecnologia viável e eficiente para a prevenção de incursões em pista desde as suas primeiras demonstrações práticas em aeroportos americanos no início dos anos 2000. A capacidade do mecanismo em apresentar, de forma completamente autônoma, o *status* de ocupação de uma pista a partir de indicações imediatas em suas cabeceiras e interseções faz com que o sistema consiga atuar de forma assertiva em praticamente todos os cenários que podem gerar conflitos. Afinal, conforme exposto por Möller e Schönefeld (2012), quando os pilotos e motoristas têm ciência da ocupação de uma pista, é improvável que a incursão ocorra, mesmo nos casos em que não for possível visualizar o tráfego conflitante.

No que tange às contribuições práticas advindas da implementação do RWSL, destaca-se a expressiva redução de 70% do número de incursões em pista observada no Aeroporto de Dallas Fort Worth entre os anos de 2005 a 2007, período que sucedeu a fase de testes e avaliações operacionais do sistema no referido aeroporto (FAA, 2008, p. 5). Ainda, conforme a FAA (2008), a realização de consultas a pilotos, controladores de tráfego aéreo e operadores aeroportuários indica que o sistema em questão funciona exatamente do modo esperado e não acarreta nenhum impacto negativo em termos de capacidade, comunicação ou segurança no contexto das operações aeroportuárias.

Com relação ao sistema Faros, ressalta-se que este tem se mostrado promissor na proposta de evitar acidentes decorrentes de incursões em pista em que uma aeronave pousa em uma pista ocupada. Nesse aspecto, a similaridade de tal mecanismo com o RWSL torna a sua compreensão simples e permite que os pilotos na fase de aproximação sejam diretamente alertados sobre perigos na pista de pouso mesmo em situações de baixa visibilidade ou que envolvam possíveis erros dos controladores de voo, tais como autorizações inadequadas ou desconhecimento da presença de tráfegos conflitantes.

Assim, embora o Faros ainda seja tratado como um sistema em fase de testes e avaliações, suas contribuições podem ser observadas. Nesse aspecto, segundo Olszta e Kuffner (2011, p. 2101), durante uma etapa de quatro meses de avaliações operacionais do sistema realizada no ano de 2008 nas três pistas mais utilizadas para pouso no aeroporto de Dallas, foram contabilizadas aproximadamente 9.000 ativações do Faros para prover informações de ocupação da pista diretamente às aeronaves em aproximação. Há de se ressaltar, entretanto, que certos pilotos discordam do momento ideal de acionamento do sistema, alegando que o fato de as indicações ocorrerem somente quando a aeronave em pouso se encontra a 500 pés de altura ou menos não oferece à tripulação em voo o tempo suficiente para reagir e preparar uma arremetida quando necessário. Desse modo, a FAA busca ajustar o sistema de modo que este seja uma importante camada de segurança e, ao mesmo tempo, não prejudique a eficiência do fluxo de tráfego aéreo com a possibilidade de gerar arremetidas desnecessárias.

A partir dos fatos apresentados, torna-se perceptível uma realidade já observada por Möller e Schönefeld (2012), em que os autores afirmam que se os sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista forem capazes de aumentar os níveis de consciência situacional de seus usuários a partir do fornecimento de informações confiáveis, será possível observar dois efeitos principais: a redução da probabilidade de ocorrência de incursões em pista e a redução da severidade das consequências desses eventos, contribuindo diretamente para a prevenção de acidentes.

Nessa perspectiva, Wilhelmsen (1994) acrescenta que níveis ainda mais altos de segurança podem ser alcançados a partir da combinação entre os recursos tecnológicos que atuam nas torres de controle, tal como o ASDE-X, e aqueles que atuam na superfície aeroportuária fornecendo alertas aos pilotos e motoristas, tais como o RWSL e Faros.

Em face do exposto, é também importante ressaltar que uma deficiência comum aos três sistemas estudados consiste na baixa confiabilidade e precisão na detecção de aeronaves e veículos que não possuam um *transponder* em operação. Logo, é fundamental que os operadores de aeronaves e veículos sejam informados da necessidade de manter o *transponder* ligado durante os deslocamentos em aeroportos providos de sistemas de vigilância de superfície. Ainda, em decorrência dessa restrição, ressalta-se que o ASDE-X, RWSL e Faros são ineficazes na prevenção de incursões em pista provocadas por pedestres.

4 CONCLUSÃO

Ao longo deste estudo foi evidenciado que a recorrência de incursões em pista em aeroportos de todo o mundo levou a comunidade aeronáutica a buscar tecnologias de defesa balizadas por recursos de vigilância que visam aumentar os níveis de alerta de pilotos, controladores e motoristas, de modo a elevar a segurança das operações em solo. Dessa forma, o objeto de pesquisa consistiu nos sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos para a prevenção de incursão em pista e seus impactos para a segurança operacional na aviação civil.

Nessa perspectiva, o objetivo geral e os objetivos específicos propostos foram atingidos, uma vez que o artigo aborda conteúdos como a definição de segurança operacional; o conceito e os fatores contribuintes de incursões em pista; bem como o funcionamento e aplicabilidade de sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos e seus impactos para a segurança operacional na aviação civil, em que foi evidenciada a redução da probabilidade e severidade das ocorrências de incursões em pista como resultado do emprego desses mecanismos.

Nesse aspecto, foram descritos os sistemas *Aerodrome Surface Detection Equipment, Model X*, o *Runway Status Lights* e o *Final Approach Runway Occupancy Signal*, indicando que os três são sistemas complementares e abrangem toda operação em um aeroporto, de modo que controladores, por meio do ASDE-X, obtêm informações relacionadas à localização e identificação de todos os tráfegos ativos na superfície aeroportuária e também possuem acesso à alertas de conflitos detectados pelo sistema. Já os motoristas dos aeroportos e pilotos nas fases de táxi e decolagem podem, através do RWSL, ter acesso a informações imediatas do *status* de ocupação de uma pista, o que também é possível para as tripulações em voo a partir do Faros.

Ainda, foi destacado que essas tecnologias obtiveram boa receptividade no meio aeronáutico e têm apresentado contribuições práticas para a prevenção de acidentes nos aeroportos em que já se encontram em operação. Portanto, sob a óptica da segurança operacional, a implementação de sistemas baseados na vigilância de superfície de aeroportos garante um nível aceitável de segurança para as operações nas pistas.

Por fim, cabe pontuar que é conveniente que operadores aeroportuários e entidades regulamentadoras passem a considerar a implementação desses mecanismos em todos os aeroportos com alto volume de tráfego aéreo e naqueles que, por razões diversas, apresentem índices elevados de ocorrências de incursão em pista. Dessa forma, sugere-se estudos futuros na área de segurança de voo que envolvam a aplicação e melhorias de tecnologias capazes de prevenir uma incursão em pista, sendo também interessante uma análise mais aprofundada acerca de seus custos, requisitos técnicos e operacionais.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **A Segurança no Sistema de Aviação Civil**. 2018. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/seguranca-operacional/programas-de-seguranca-operacional/historico>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **SGSO na prática: Guia para Gerenciamento de Riscos da Aviação**. 2019. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/Gerenciandoriscos_SGSONapratica.pdf. Acesso em: 18 mar. 2021.
- BATUWANGALA, E.; SILVA, J.; WILD, G. **The Regulatory Framework for Safety Management Systems in Airworthiness Organisations**. *Aerospace*. Melbourne, v. 5, n. 4, p. 117, 2018.
- BYRNE, Theodore Patrick. **Reducing Runway Incursions at the Nation's Five Busiest Airports, 2009-2011**. 2017. 155 f. Dissertation (Doctor of Philosophy Public Policy and Administration). *Walden University*, Minneapolis, 2017.
- CIVIL AVIATION SAFETY AUTHORITY. **Safety Behaviours: human factors for pilots**. 2. ed. 2019. Disponível em: <https://www.casa.gov.au/sites/default/files/safety-behaviours-human-factor-for-pilots-1-introduction.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2021.
- EGGERT, James R. **Demonstration of Runway Status Lights at Logan Airport**. *The Lincoln Laboratory Journal*, v. 7, n. 2, p. 169-186, 1994.
- EGGERT, James R. et al. **Operational Evaluation of Runway Status Lights**. *The Lincoln Laboratory Journal*, v. 16, n. 1, p. 123-146, 2006.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **FAA's Implementation of Runway Status Lights. Report Number AV-2008-021**. U.S. Department of Transportation. Office of Inspector General. 2008. Disponível em: https://www.oig.dot.gov/sites/default/files/WEB_Final_RWSL.pdf. Acesso em: 08 set. 2020.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Fact Sheet – Airport Surface Detection Equipment Model X (ASDE-X)**. Disponível em: https://www.faa.gov/news/fact_sheets/news_story.cfm?newsId=17095. 2018. Acesso em: 07 jun. 2021.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Lightning Systems – Precision Approach Path Indicators (PAPI)**. 2019. Disponível em: https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/lsg/papi/. Acesso em: 03 mai. 2021.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Runway Status Lights Pilot Reference Guide**. 2015. Disponível em: https://www.faa.gov/air_traffic/technology/rwsl/pet/. Acesso em: 07 jun. 2021.
- GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (2009). **Métodos de Pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- GIL, A. C. (2002). **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas S/A.
- GIL, A. C. (2008). **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas S/A.
- HUDSON, P. Centre for Safety Studies. University of Leiden. **Human Factors in Runway Incursion Incidents**. ICAO Runway Safety Seminar, Moscow, set. 2005 *apud* SIMÃO, Alexander. **Incursão em pista: conceito, classificações, fatores contribuintes e medidas preventivas: uma revisão de literatura**. *Revista Conexão SIPAER*. Brasília, v. 1, n. 2, p. 45-67, Mar. 2010.
- HELLENBERG, John. **Effects of a Final Approach Runway Occupancy Signal (FAROS) on Pilots' Flight Path Tracking, Traffic Detection, and Air Traffic Control Communications**. The MITRE Corporation, 2005.

- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **DOC 9859: Safety Management Manual**. 4. ed. Montreal, 2018. Disponível em: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/5863.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2021.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Procedures for air navigation services: air traffic management**. 16. ed. Montreal, 2016. Disponível em: <https://ops.group/blog/wp-content/uploads/2017/03/ICAO-Doc4444-PansAtm-16thEdition-2016-OPSGROUP.pdf>. Acesso em: 23 set. 2020.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **State of Global Aviation Safety**. Montreal, 2019. Disponível em: https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2019_final_web.pdf. Acesso em: 06 mar. 2021.
- JONES, D.R.; YOUNG, S.D. **Runway incursion prevention: a technology solution**. In: JOINT MEETING OF THE FLIGHT SAFETY FOUNDATION'S 54th ANNUAL INTERNATIONAL AIR SAFETY SEMINAR, THE INTERNATIONAL FEDERATION OF AIRWORTHINESS' 31st INTERNATIONAL CONFERENCE, AND THE INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, Athens: [s.n.], 2001. p. 1-22.
- KUFFNER, M. P.; PERKINS, R. **Human Factors Assessment of Runway Status Lights and Final Approach Runway Occupancy Signal: FAA operational evaluations at Dallas Ft. Worth and San Diego International airports**. In: EIGHTH USA/EUROPEAIRTRAFFIC MANAGEMENTRESEARCHAND DEVELOPMENTSEMINAR (ATM2009), Napa: [s.n.], 2009. p. 1-9.
- LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- LEARMOUNT, David. **100 years of flight safety advances**. 2009. Disponível em: <https://www.flightglobal.com/100-years-of-flight-safety-advances/84496.article>. Acesso em: 01 mar. 2021.
- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Lab Notes: Runway Status Lights**. 2012. Disponível em: <https://archive.ll.mit.edu/publications/labnotes/runwaystatuslights.html>. Acesso em: 12 mai. 2021.
- MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **Tech notes: Runway Status Lights**. 2010. Disponível em: https://archive.ll.mit.edu/publications/technotes/TechNote_RWSL.pdf. Acesso em: 12 mai. 2021.
- MÖLLER, D. P.; SCHÖNEFELD, J. **Runway incursion prevention systems: A review of runway incursion avoidance and alerting system approaches**. *Progress in Aerospace Sciences*, Hamburg, v. 51, p. 31–49, Mai. 2012.
- MILLAM, Mark. **Evolution of Safety and Learning in the Aviation Industry**. 2017. Disponível em: <https://flightsafety.org/evolution-safety-learning-industry>. Acesso em: 24 fev. 2021.
- MRAZOVA, Maria. **Runway Incursion – clear and constant danger**. *INCAS BULLETIN*, Bucharest, v. 6, n. 3, p. 71-80, Mar. 2014.
- OLSZTA, Jessica E.; KUFFNER, Maria P. **INCORPORATING HUMAN FACTORS INTO THE DEVELOPMENT AND OPERATIONAL EVALUATIONS OF RUNWAY STATUS LIGHTS**. In: PROCEEDINGS OF THE HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS SOCIETY 55th ANNUAL MEETING. Los Angeles: SAGE PUBLICATIONS, 2011. p. 2098 – 2102.
- SIMÃO, Alexander. **Incursão em pista: conceito, classificações, fatores contribuintes e medidas preventivas: uma revisão de literatura**. *Revista Conexão SIPAER*. Brasília, v. 1, n. 2, p. 45-67, Mar. 2010.
- STOLZER, Alan J.; HALFORD, Carl D.; GOGLIA, John J. **Safety Management Systems in Aviation**. *Ashgate*, 2008.
- STROEVE, Sybert H. et al. **Strengthening air traffic safety management by moving from outcome-based towards risk-based evaluation of runway incursions**. *Reliability Engineering and System Safety*. v. 147, p. 93-108, 2016.
- TRANSPORT CANADA. National Civil Aviation Safety Committee. **Sub-Committee on Runway Incursions. Final Report**. Ottawa, 2000. Disponível em: <https://tc.canada.ca/sites/default/files/migrated/tp13795e.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2020.
- VILLAS BÔAS, Paulo Cezar Rodrigues. **A relação entre instituições, fatores humanos e segurança operacional na aviação**. *Aviation in Focus*. Porto Alegre, v. 5, n. 2, p. 68-77, Dez. 2014.
- WILHELMSSEN, Harald. **Preventing Runway Conflicts: The Role of Airport Surveillance, Tower-Cab Alerts, and Runway-Status Lights**. *The Lincoln Laboratory Journal*. Lexington, v. 7, n. 2, p. 149-168, 1994.