



# **Gestão & Gerenciamento**

## **GERENCIAMENTO DE RISCOS EM PROJETOS DE RETROFIT DE BALIZAMENTO LUMINOSO COM A PISTA EM OPERAÇÃO**

*RISK MANAGEMENT IN RUNWAY LIGHTING RETROFIT PROJECTS WITH  
THE RUNWAY IN OPERATION*

**Ozileide Dandara Aparecida dos Santos**

Engenheira Eletricista; UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

[dandarasantos83@gmail.com](mailto:dandarasantos83@gmail.com)

**Arthur Serra Lima**

Engenheiro Eletricista com MBA em Sistemas Elétricos e Gestão; IPOG, Rio de Janeiro, RJ, Brasil;

[arthurserra32@gmail.com](mailto:arthurserra32@gmail.com)

## Resumo

Este trabalho analisa o gerenciamento de riscos em projetos de retrofit de balizamento luminoso (AGL) em pistas de pouso e decolagem em plena operação. O objetivo principal é estabelecer estratégias que garantam a transição eficiente para a tecnologia LED sem comprometer a segurança operacional. A metodologia consiste em um estudo técnico-normativo fundamentado nas diretrizes da ICAO e FAA, integrando o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SMS) à análise de estudos de caso globais. Os resultados demonstram que a identificação antecipada de perigos, como detritos (FOD) e incursões em pista, aliada a um faseamento rigoroso das intervenções noturnas e ao uso de planos de contingência, reduz significativamente a probabilidade de incidentes críticos. Conclui-se que o sucesso do retrofit em pistas ativas depende da previsibilidade absoluta e do monitoramento contínuo via indicadores de desempenho (KPIs). A implementação dessas práticas permite a modernização da infraestrutura aeroportuária com impacto mínimo na malha aérea, assegurando a integridade dos usuários e a continuidade dos serviços essenciais.

**Palavras-chaves:** Gerenciamento de Risco; Retrofit de Balizamento; Segurança Operacional; LED Aeroportuário; Pista em Operação.

## Abstract

*This study analyzes risk management in airfield ground lighting (AGL) retrofit projects on runways under full operation. The main objective is to establish strategies that ensure an efficient transition to LED technology without compromising operational safety. The methodology consists of a technical-normative study based on ICAO and FAA guidelines, integrating the Safety Management System (SMS) with the analysis of global case studies. The results demonstrate that the early identification of hazards, such as Foreign Object Debris (FOD) and runway incursions, combined with rigorous phasing of nightly interventions and the use of contingency plans, significantly reduces the probability of critical incidents. It is concluded that the success of retrofitting on active runways depends on absolute predictability and continuous monitoring via key performance indicators (KPIs). Implementing these practices allows for the modernization of airport infrastructure with minimal impact on the air network, ensuring the integrity of users and the continuity of essential services.*

**Keyword:** Risk Management; Lighting Retrofit; Operational Safety; Airfield LED; Active Runway.

## 1 Introdução

---

A infraestrutura aeroportuária representa um dos pilares mais críticos da logística global, exigindo altos níveis de disponibilidade e segurança operacional. Dentro desse contexto, o sistema de balizamento luminoso (AGL - Airfield Ground Lighting) desempenha um papel vital, fornecendo aos pilotos os auxílios visuais necessários para pousos, decolagens e taxiamentos seguros, especialmente em condições de baixa visibilidade ou operações noturnas [1]. Atualmente, o setor atravessa uma transição tecnológica global, migrando de sistemas halógenos tradicionais para a tecnologia LED, o que exige que a segurança operacional seja mantida integralmente mesmo durante as fases de construção e modernização em áreas de movimento [2].

No cenário brasileiro, essa transição deve ser acompanhada por um gerenciamento de risco robusto, conforme preconizado pelas instruções suplementares da Agência Nacional de Aviação Civil, que estabelecem diretrizes para a identificação de perigos em operações aeroportuárias complexas [3]. Entretanto, o grande desafio reside na execução desses projetos de retrofit em aeroportos de alta densidade de tráfego, onde o fechamento total da pista é economicamente inviável.

Dessa forma, a aplicação de um Gerenciamento de Risco robusto deixa de ser uma mera formalidade administrativa para se tornar o alicerce da engenharia de manutenção. O uso de metodologias fundamentadas no SMS (Safety Management System) e nas diretrizes globais da ICAO permite a criação de barreiras preventivas e mitigadoras, sendo uma necessidade imperativa para neutralizar o potencial de tragédias e evitar prejuízos operacionais em larga escala que poderiam comprometer a reputação e a viabilidade financeira do aeródromo [4, 5].

Este artigo analisa estratégias de mitigação em pistas ativas sob a ótica do SISCEAB, garantindo que o retrofit não interfira na segurança da navegação aérea [6]. A abordagem integra as melhores práticas de gestão de projetos para harmonizar cronogramas executivos rígidos com o monitoramento de indicadores de desempenho (KPIs) [7]. Assim, estabelece-se um roteiro para gestores alcançarem eficiência tecnológica através de um risco operacional sistematicamente controlado.

## **2 Metodologia**

---

A presente pesquisa adota uma abordagem qualitativa-descritiva, estruturada em um estudo de caso técnico fundamentado nas diretrizes do SMS (Safety Management System) e nas normas da ICAO (Anexo 14 e Doc 9859) [4, 5]. O procedimento metodológico divide-se em quatro etapas principais:

- a. Inventário Técnico: Realização de levantamento do sistema de balizamento halógeno atual, incluindo o estado das bases, transformadores de isolamento e a capacidade de resposta dos Reguladores de Corrente Constante (CCR) para operação com cargas LED, conforme os parâmetros de projeto definidos pela FAA [1].
- b. Identificação de Perigos (HIRA): Aplicação da metodologia para mapear ameaças críticas à segurança operacional durante a execução, utilizando como base as diretrizes de gerenciamento de risco da ANAC e do DECEA [3, 6].
- c. Cronograma de Janelas Temporais: Estabelecimento de um cronograma baseado em janelas noturnas reduzidas, aplicando as melhores práticas de gerenciamento de projetos do PMI [7] e as orientações da FAA para segurança em aeroportos durante construções [2].
- d. Protocolos de Contingência e Rollback: Definição de critérios de aceitação e planos de retorno ao balizamento original em caso de falha técnica, com validação final baseada nos requisitos de manutenção e operação dos RBACs 153 e 154 [9, 10] e na ICA 54-7 [8].

## **3 Gerenciamento de riscos em projetos**

---

O gerenciamento de riscos em projetos de retrofit de balizamento luminoso em pistas ativas ultrapassa a abordagem tradicional de projetos de engenharia, exigindo uma integração sistêmica entre operação aeroportuária, segurança de voo e gestão estratégica. Realização de inventário técnico do sistema de balizamento halógeno atual, incluindo o estado das bases (lata de base), transformadores de isolamento e a capacidade de resposta dos Reguladores de Corrente Constante (CCR) para operação com cargas não lineares (LED).

Figura 1 - Paradigma da Gestão de Riscos



Fonte: Elaborado pelo autor

Diferentemente de projetos convencionais, nos quais atrasos e retrabalhos impactam predominantemente custo e prazo, no contexto aeroportuário tais desvios assumem uma dimensão crítica, podendo afetar diretamente a segurança operacional e a continuidade da malha aérea.

Figura 2 - Fluxo de Transição Noturna



Fonte: Elaborado pelo autor

Nesse sentido, a aplicação dos princípios do Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SMS), conforme preconizado pela International Civil Aviation Organization, demonstra-se não apenas adequada, mas indispensável [4, 5, 6].

### 3.1 Análise da Identificação de Perigos (HIRA)

A aplicação da metodologia HIRA permitiu identificar que os riscos mais críticos — como FOD, incursões em pista e falhas de circuito — possuem uma característica comum: alta severidade combinada com baixa tolerância operacional [3].

Observa-se que o risco de FOD, frequentemente subestimado em projetos de engenharia civil, assume neste contexto um papel central. Pequenos resíduos oriundos das intervenções podem resultar em danos severos a aeronaves, evidenciando que o controle desse risco deve ser tratado como prioridade máxima.

**Figura 3 - Gestão Integrada de Riscos Aeroportuários**  
(HIRA, PMBOK & ENGENHARIA)



Fonte: Elaborado pelo autor

Além disso, as incursões em pista revelam uma vulnerabilidade associada à interface entre equipes de obra e operações aeronáuticas, indicando falhas potenciais de comunicação e coordenação. Esse aspecto reforça a necessidade de integração entre os domínios técnico e operacional, alinhando-se às boas práticas de gerenciamento de riscos descritas no PMBOK Guide [7].

Já os riscos técnicos, como falhas de circuito, evidenciam a complexidade da transição tecnológica entre sistemas halógenos e LED, especialmente devido ao comportamento não linear das cargas e à possível incompatibilidade com reguladores existentes (CCR). Tal fator introduz incertezas adicionais que demandam validação rigorosa antes da liberação operacional.

### 3.2 Discussão sobre o Faseamento e Janelas Operacionais

Os resultados demonstram que o planejamento de janelas operacionais reduzidas é um dos principais fatores críticos de sucesso do projeto.

A execução em períodos noturnos impõe restrições severas de tempo, criando um ambiente no qual qualquer desvio, por menor que seja, pode comprometer a reabertura da pista no horário previsto. Nesse contexto, destaca-se o conceito de “previsibilidade absoluta”, no qual cada atividade deve ser previamente ensaiada, padronizada e validada.

A analogia frequentemente utilizada — “cirurgia em paciente acordado” — revela-se adequada, pois reflete a necessidade de precisão extrema e tolerância zero a erros. A análise evidencia que o sucesso do faseamento está diretamente relacionado à:

- Padronização das atividades de campo;
- Sequenciamento lógico das intervenções;
- Capacidade de mobilização e desmobilização rápida das equipes.

Adicionalmente, a adoção de um ponto de corte operacional rígido (Hard Stop) se mostra essencial para garantir tempo hábil para inspeções, limpeza de pista e mitigação de riscos residuais antes da reabertura.

### **3.3 Avaliação dos Protocolos de Contingência**

Os planos de contingência (rollback) demonstraram ser um elemento crítico para a redução do risco global do projeto.

A possibilidade de retorno imediato ao sistema original em caso de falha reduz significativamente a exposição ao risco, transformando eventos potencialmente críticos em ocorrências controláveis. Essa abordagem está alinhada à estratégia de resposta ao risco do tipo “mitigar” e “aceitar com contingência”, conforme estruturado no PMBOK Guide [7].

Entretanto, a análise evidencia que a eficácia dos planos de contingência depende diretamente de:

- Disponibilidade de componentes legados;
- Treinamento das equipes para execução rápida do rollback;
- Clareza nos critérios de aceitação e rejeição das instalações.

A ausência de qualquer um desses elementos compromete a capacidade de resposta, elevando o nível de risco operacional.

### **3.4 Avaliação dos Protocolos de Contingência**

Um dos principais achados deste estudo é a necessidade de integração plena entre engenharia de infraestrutura e gestão de segurança operacional.

Projetos de retrofit AGL não podem ser tratados exclusivamente como intervenções técnicas. A análise demonstra que decisões de engenharia — como substituição de luminárias ou ajustes em circuitos — possuem impactos diretos na operação de voo.

Nesse sentido, o SMS atua como um framework integrador, permitindo:

- Identificação contínua de perigos;
- Monitoramento de riscos em tempo real;
- Retroalimentação do sistema com base em ocorrências.

Essa integração reforça a transição de uma abordagem reativa para uma abordagem proativa e preditiva de segurança [5, 6].

## **4 Desafios da Gestão de Programas Multiaeroportos**

---

Em um programa multiaeroportos, o maior perigo é a falta de uniformidade.

- Variabilidade de Legado: Cada aeroporto pode ter circuitos de marcas e idades diferentes. Tentar aplicar a mesma solução de LED em um regulador de corrente constante (CCR) de 1990 em um aeroporto e em um de 2015 em outro gera falhas imprevisíveis.
- Compatibilidade Eletromagnética (EMC): O LED utiliza drivers eletrônicos que podem gerar harmônicas na rede. Em larga escala, isso pode interferir nos sistemas de navegação (ILS/DVOR) de aeroportos específicos dependendo da infraestrutura elétrica local [1, 8].

- Curva de Aprendizado Distribuída: A equipe de manutenção do "Aeroporto A" pode se adaptar rápido, enquanto a do "Aeroporto B" pode ter dificuldades, criando um gargalo na segurança operacional da rede.

4.1 Riscos Operacionais de Malha (Efeito Dominó)

Diferente de uma obra em uma rodovia, o fechamento não planejado de uma pista em um grande hub (como Guarulhos ou Heathrow) afeta voos a milhares de quilômetros de distância.

- NOTAMs Conflitantes: Se vários aeroportos na mesma rota estão em obra simultaneamente, a capacidade de alternativos (aeroportos de desvio) fica reduzida, elevando o risco de segurança para aeronaves com pouco combustível [4, 6].
- Fadiga e "Cegueira" de Rotina: Equipes que trabalham apenas em janelas noturnas por meses tendem a perder o rigor na inspeção de FOD (detritos). O monitoramento da saúde mental dessas equipes é um risco crítico de segurança do trabalho [2].

Tabela 1 - Matriz de Riscos: Comparativo de Impacto por Perfil de Aeroporto

| Categoria de Risco    | Aeroporto Hub (Alta Densidade)                         | Aeroporto Regional (Baixa Densidade)                           |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Impacto de Atraso     | Altíssimo: Causa cancelamentos em cascata na malha.    | Médio: Afeta poucos voos, mas pode isolar a região.            |
| Segurança (FOD)       | Crítico: Turbinas de jatos grandes são mais sensíveis. | Moderado: Aeronaves menores têm maior tolerância.              |
| Janela de Trabalho    | Mínima: (ex: 01:00 às 04:30).                          | Flexível: Pode-se trabalhar até durante o dia em alguns casos. |
| Complexidade Elétrica | Alta: Circuitos complexos e redundantes.               | Baixa: Sistemas mais simples e diretos.                        |

Fonte: Elaborado pelo autor

5 Melhorias Estratégicas Sugeridas (Oportunidades)

Para mitigar esses riscos em um programa de larga escala, as seguintes melhorias devem ser implementadas:

- e. Gêmeo Digital (Digital Twin): Criar um modelo digital de cada pista antes do retrofit para simular o comportamento elétrico e a visibilidade dos pilotos (fotometria virtual).
- f. Sistema de Monitoramento Individual de Lâmpada (ILMS): Aproveitar o retrofit para instalar tecnologia que avisa à torre exatamente qual lâmpada queimou em tempo real, reduzindo a necessidade de inspeções físicas na pista.
- g. Contratos de Performance: Em vez de apenas comprar luminárias, contratar o "nível de luminosidade". Isso transfere o risco de manutenção e tecnologia para o fornecedor.

- h. Treinamento Transversal: Criar uma equipe "Elite de Retrofit" que viaja entre os aeroportos para treinar as equipes locais, garantindo que o padrão de segurança seja o mesmo em todos os pontos da rede
- i. Pilares de Segurança Operacional (O mais crítico)
- j. Estes indicadores medem se o risco está sob controle durante a execução.

Tabela 2 - Pilares de Segurança Operacional (O mais crítico)

| Indicador            | Descrição                                                | Meta    |
|----------------------|----------------------------------------------------------|---------|
| Índice de FOD        | Detritos encontrados na pista após a reabertura.         | Zero    |
| Atraso na Devolução  | Minutos além do horário de NOTAM para abrir a pista.     | < 5 min |
| Incursões em Pista   | Entradas não autorizadas durante a janela de obra.       | Zero    |
| Falha de Balizamento | Apagões em circuitos recém-instalados nas primeiras 24h. | < 1%    |

Fonte: Elaborado pelo autor com base nas diretrizes de monitoramento do SMS [5, 6]

## 5.1 Eficiência de Execução (Ritmo de Obra)

### 5.1.1 Mede a produtividade das equipes em cada aeroporto da rede.

- Taxa de Instalação (Lâmpadas/Noite): Média de pontos de luz trocados por janela de trabalho.
- Aderência ao Cronograma (SPI): Comparação entre o planejado e o executado no portfólio.
- Tempo de Mobilização/Desmobilização: Quanto tempo a equipe leva para entrar e sair da pista (objetivo: maximizar o tempo de "ferramenta na mão").

### 5.1.2 Desempenho Técnico e Qualidade.

Garante que a "melhoria" está realmente entregando o que prometeu.

- Conformidade Fotométrica: % de luminárias que passam no teste de intensidade e ângulo [4,8].
- Eficiência Energética Real: Redução de consumo (kWh) medida nos Reguladores de Corrente (CCR).
- MTBF (Tempo Médio entre Falhas): Estabilidade dos novos drivers LED em comparação ao sistema antigo.

5.1.3 Gestão de Portfólio e Riscos (Visão Executiva)

Tabela 3 - Status de todos os aeroportos simultaneamente

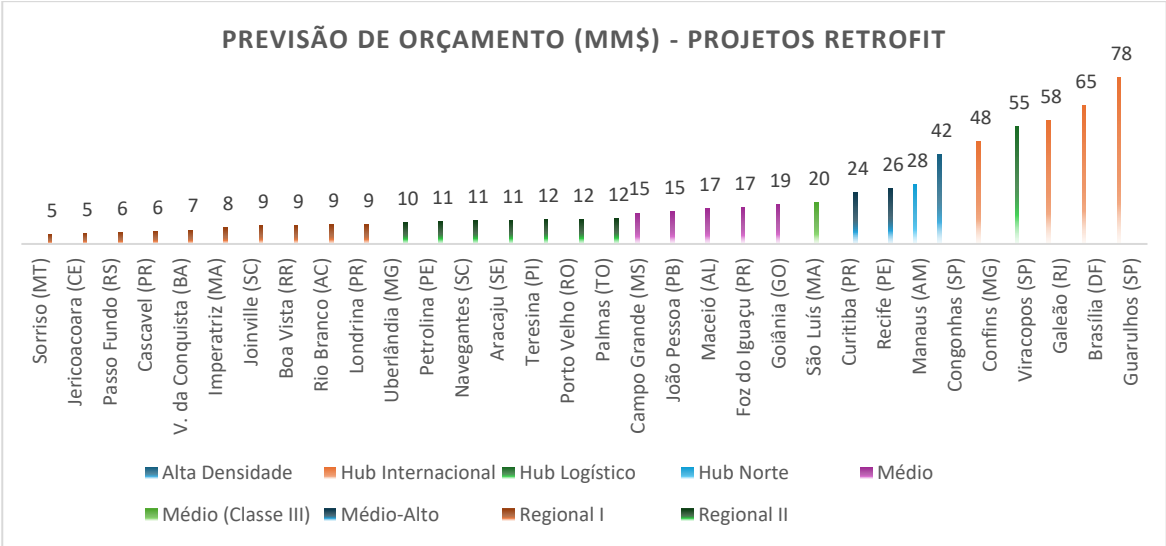
| Aeroporto       | Status                                | Progresso | Risco Crítico Identificado                        |
|-----------------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------------------|
| GRU (São Paulo) | <span style="color: green;">●</span>  | 85%       | Logística de entrega de transformadores.          |
| BSB (Brasília)  | <span style="color: yellow;">●</span> | 40%       | Janela de trabalho reduzida por voos extras.      |
| GIG (Rio)       | <span style="color: red;">●</span>    | 15%       | Interferência eletromagnética em circuito antigo. |

Fonte: Elaborado pelo autor

6 Análise do Panorama de Investimento em Infraestrutura AGL (Brasil 2026)

O gráfico apresentado ilustra a estimativa de investimento para o retrofit tecnológico de balizamento luminoso (AGL) em uma amostra de 32 aeroportos estratégicos do Brasil. A distribuição dos custos revela uma curva de crescimento exponencial que acompanha a transição dos Aeroportos Regionais (Classes I e II) em direção aos grandes Hubs Internacionais de Alta Densidade (Classe IV).

Gráfico 4 - Custos em projetos de retrofit



Fonte: Elaborado pelo autor com base nas conformidades técnica exigidos pelos RBAC 153 e 154 [9, 10]

O gerenciamento de custos em projetos de retrofit de auxílios visuais (AGL) em pistas ativas rompe com a lógica de obras civis convencionais, transicionando para um modelo de logística de alta precisão. O orçamento aqui apresentado (variando de R\$ 5 milhões a R\$ 78 milhões) é reflexo direto de três pilares de criticidade.

### **6.1 O Custo da Inexistência de Margem de Erro (Rollback)**

Diferente de uma obra em área isolada, o orçamento de retrofit em pista operacional contempla uma "reserva de prontidão". Cerca de 15% a 20% do custo de mão de obra é destinado a garantir que, caso ocorra uma falha técnica durante a janela noturna, o sistema original possa ser restabelecido em menos de 30 minutos. O risco de um aeroporto como São Luís (SLZ) ou Guarulhos (GRU) não abrir para o primeiro voo da manhã por falha na obra representa prejuízos em cascata que superam o valor de um dia de contrato [2].

### **6.2 Logística de Dispersão e Janelas de Trabalho**

O gráfico orçamentário revela que aeroportos de Alta Densidade possuem custos exponenciais. Isso ocorre porque, em pistas de alto tráfego, a "janela útil" de trabalho é extremamente fragmentada. O custo de mobilização e desmobilização (comboio de veículos, varredura de FOD e escolta técnica) é repetido diariamente. Em termos orçamentários, paga-se por 8 horas de disponibilidade de equipe para obter, muitas vezes, apenas 3 ou 4 horas de intervenção efetiva na pista [9].

### **6.3 Especificação Técnica vs. Agressividade Ambiental.**

A criticidade aumenta em aeroportos litorâneos, como o caso de São Luís. O contexto orçamentário deve prever componentes com maior resistência à corrosão galvânica e salinidade. O uso de luminárias LED com vedação IP68 e bases de fixação em ligas especiais eleva o CapEx (Investimento de Capital) inicial, mas é a única estratégia de mitigação de risco contra falhas prematuras que comprometeriam a segurança de pouso e aumentariam o OpEx (Custo Operacional) com manutenções corretivas emergenciais [1,10].

## **7 Considerações finais**

---

O retrofit do sistema de balizamento luminoso para a tecnologia LED em pistas de pouso e decolagem em plena operação representa um dos maiores desafios de engenharia e gestão de segurança na aviação civil. A presente pesquisa demonstrou que a viabilidade desses projetos não reside apenas na capacidade técnica da instalação elétrica, mas, fundamentalmente, na robustez do Gerenciamento de Riscos aplicado desde a fase de planejamento [1, 5, 7].

Concluiu-se que as particularidades de cada aeródromo exigem estratégias de mitigação distintas: enquanto nos grandes hubs a precisão cronométrica das janelas de trabalho e a prontidão na desmobilização são os fatores críticos de sucesso, nos aeroportos regionais e de médio porte, os desafios concentram-se na compatibilidade com infraestruturas de legado e na logística de suprimentos. Em todos os cenários, a conformidade com as normas da ANAC (RBAC 153 e 154) e do DECEA (ICA 54-7) mostrou-se o balizador essencial para a manutenção dos níveis aceitáveis de segurança operacional [3, 8, 9, 10].

A aplicação da metodologia HIRA e o monitoramento via KPIs de segurança (como o índice de FOD e atrasos na devolução da pista) revelaram-se ferramentas indispensáveis para evitar tragédias e interrupções sistêmicas na malha aérea [3, 5, 10]. Além disso, o fator humano, manifestado na fadiga das equipes noturnas, deve ser tratado como um risco de alta severidade, exigindo protocolos de revezamento e supervisão rigorosos.

Em última análise, o retrofit LED transcende a mera modernização tecnológica ou a busca pela eficiência energética de até 70%. Ele representa um avanço na confiabilidade dos auxílios

visuais à navegação aérea e na resiliência da infraestrutura. A integração harmônica entre as equipes de engenharia, operações aeroportuárias e controle de tráfego aéreo, sob a égide de um SMS (Safety Management System) ativo, é o que garante que a evolução tecnológica ocorra sem comprometer a integridade de passageiros e tripulantes [5, 6].

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se o estudo do impacto da inteligência artificial e do monitoramento por sensores IoT (Internet of Things) na previsão de falhas em tempo real nos novos sistemas LED, potencializando ainda mais a segurança em áreas de movimento.

---

## Referências

- [1] FAA. Federal Aviation Administration. **Advisory Circular 150/5340-30J: Design and Installation Details for Airport Visual Aids**. Washington, D.C.: FAA, 2018.
- [2] FAA. Federal Aviation Administration. **Advisory Circular 150/5370-2G: Operational Safety on Airports During Construction**. Washington, D.C.: FAA, 2017.
- [3] ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **Instrução Suplementar - IS n. 153.103-A: Gerenciamento do risco à segurança operacional**. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao>. Acesso em: 21 mar. 2026.
- [4] ICAO. International Civil Aviation Organization. **Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation: Aerodromes, Volume I - Aerodrome Design and Operations**. 9. ed. Montreal: ICAO, 2022.
- [5] ICAO. International Civil Aviation Organization. **Doc 9859 AN/474: Safety Management Manual**. 4. ed. Montreal: ICAO, 2018.
- [6] DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ICA 63-1: Gerenciamento do Risco à Segurança Operacional no SISCEAB**. Rio de Janeiro: DECEA, 2020.
- [7] PMI. Project Management Institute. **A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)**. 7. ed. Newtown Square: PMI, 2021.
- [8] DECEA. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **ICA 54-7: Sistemas de Auxílios Visuais Luminosos em Aeródromos**. Rio de Janeiro: DECEA, 2022.
- [9] ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC n. 153: Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência**. Brasília: ANAC, 2023.
- [10] ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. **RBAC n. 154: Projeto de Aeródromos**. Brasília: ANAC, 2022.