XXII SITRAER 2025
Simpósio de Transporte Aéreo

EMAS COMO ALTERNATIVA À RESA EM AEROPORTOS COM LIMITAÇÕES GEOGRÁFICAS: O CASO DO AEROPORTO DE SANTA MARTA, COLÔMBIA

Lauro Victor Santos[1], Susana Soares[2]
1. Instituto de Ensino Superior de Brasília
2. Centro Universitário de Brasília

*** E-mail dos autores:** laurovictorlvcss@gmail.com; ssusana.sribeiro@gmail.com

PAPER ID: SITXXX

RESUMO

A segurança operacional em aeroportos está diretamente relacionada ao cumprimento de requisitos normativos internacionais que preveem áreas adicionais às pistas destinadas à mitigação de acidentes por excursão. Em aeroportos sem disponibilidade física para implantação da *Runway End Safety Area* (RESA), surgem soluções alternativas como o *Engineered Materials Arresting System* (EMAS). Este artigo analisa a aplicabilidade do EMAS no Aeroporto Internacional Simón Bolívar, em Santa Marta (Colômbia), caracterizado por severas restrições geográficas em ambas as cabeceiras. O estudo baseia-se em referências normativas, registros estatísticos de acidentes e casos reais de atuação do EMAS, comparando sua eficácia com a RESA convencional. Conclui-se que o sistema representa a alternativa mais adequada para elevar a segurança operacional em Santa Marta, preservando a capacidade da pista e mitigando impactos econômicos decorrentes de eventuais acidentes.

Palavras-chave: EMAS; *overrun*; RESA; *runway excursion*; segurança operacional.

DECLARAÇÃO DE USO DE IA GENERATIVA

Os autores declaram que o uso de ferramentas de inteligência artificial generativa restringiu-se a atividades de apoio técnico, sem comprometer a originalidade, as análises e as conclusões apresentadas no trabalho. Todas as informações obtidas por meio desses recursos foram cuidadosamente avaliadas e integradas ao estudo, assegurando o rigor metodológico e a integridade acadêmica. A ferramenta Scispace foi utilizada para pesquisa automatizada, ampliando a busca por referências relacionadas aos temas do estudo, e a ferramenta ChatGPT foi utilizada exclusivamente para auxiliar na localização de referências bibliográficas e na verificação de conteúdo técnico presente nas normas analisadas.

PAPER ID: SITXXX

SISTEMA EMAS COMO ALTERNATIVA À RESA EM AEROPORTOS COM RESTRIÇÕES GEOGRÁFICAS: O CASO DO AEROPORTO DE SANTA MARTA

1 INTRODUÇÃO

A segurança operacional (*safety*) na aviação depende da capacidade dos aeroportos de mitigar riscos associados a acidentes como a saída não intencional da aeronave além dos limites da pista, denominada *Runway Excursions*. Para reduzir a gravidade desses eventos, a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) recomenda a implantação da *Runway End Safety Area* (RESA), área de segurança localizada além da cabeceira ou do final da pista. No entanto, muitos aeroportos estabelecidos, especialmente os localizados em áreas urbanas ou geograficamente limitadas, não dispõem do espaço necessário para atender integralmente a essa recomendação sem comprometer as atividades operacionais do aeroporto.

A partir desta problemática, o *Engineered Materials Arresting System* (EMAS) se destaca como alternativa nesses cenários. O sistema é composto por materiais projetados para se deformarem sob o peso da aeronave, promovendo sua desaceleração de forma controlada. Utilizado com êxito em aeroportos de elevada movimentação operacional, o EMAS se consolidou como uma solução eficaz de segurança passiva, uma vez que reduz substancialmente a severidade dos acidentes por mitigar os danos tanto aos ocupantes quanto à estrutura da aeronave (FAA, 2023).

Diante disto, o presente artigo tem como objetivo demonstrar a eficácia do sistema EMAS na redução da severidade desses acidentes, com base na análise do Aeroporto Internacional Simón Bolívar, localizado em Santa Marta, Colômbia. O interesse por esse aeroporto se dá nas restrições físicas relevantes que limitam a implantação da RESA convencional.

2 METODOLOGIA

A pesquisa adota uma abordagem normativa e exploratória, fundamentada em documentos da ICAO, FAA e ANAC, além de relatórios de acidentes e bases de dados internacionais. Destaca-se que, devido à indisponibilidade de dados específicos do sítio aeroportuário e da aeronave crítica, não foram realizadas simulações de desempenho ou modelagens quantitativas aplicadas ao caso de Santa Marta.

Ademais, recorre-se a exemplos de outros aeroportos, nacionais e internacionais, tanto com a presença do EMAS quanto em situações em que sua ausência resultou em acidentes severos, de modo a reforçar a análise qualitativa e o comparativo entre alternativas de mitigação.

3 RESA E AS RESTRIÇÕES OPERACIONAIS DO AEROPORTO DE SANTA MARTA

A segurança operacional em aeroportos está diretamente vinculada à existência de áreas adicionais às pistas, conforme previsto no *Annex 14* da ICAO (2022). Para pistas de código 3 ou 4, estabelece-se a obrigatoriedade de uma RESA com, no mínimo, 90 m de comprimento, após 60 m referentes à faixa de pista, totalizando 150 m disponíveis além da cabeceira.

No Aeroporto Internacional Simón Bolívar, entretanto, essas dimensões não podem ser cumpridas. Na cabeceira 01, restam apenas 10 m além da faixa de pista padrão, valor insuficiente para atender ao comprimento normativo da RESA, enquanto na cabeceira 19 o espaço disponível é de 55 m, inferior à faixa mínima exigida. Nessas condições, a implantação convencional demandaria o recuo expressivo do comprimento da pista, com impacto direto sobre a capacidade operacional do aeroporto.

A ausência ou a limitação dessas áreas agrava as consequências em casos de *runway excursion*. A severidade do evento está relacionada às características da aeronave no momento da ocorrência,

como velocidade e massa, bem como às condições da superfície e à disponibilidade de áreas de escape. Embora a RESA seja recomendada internacionalmente, sua implementação em aeroportos com restrições geográficas torna-se impraticável, exigindo soluções alternativas para garantir níveis adequados de segurança (GODLEY et al., 2009).

Em 17 de julho de 2007, um Embraer ERJ-190-100LR (HK-4455) da AeroRepública sofreu um overrun em Santa Marta sob chuva intensa e pista molhada, ultrapassando a cabeceira 19 e parando no mar. De acordo com a Aerocivil (2007), a aeronave pousou acima da velocidade recomendada (148 nós em vez de 107 nós) e tocou o solo apenas 470 m após a cabeceira, iniciando a frenagem efetiva quando restavam 490 m de pista. Com 35,9 t de peso no pouso, dentro dos limites certificados, ultrapassou os limites da pista, resultando em 15 feridos leves e perda total da aeronave.

Ainda que um EMAS dimensionado com equivalência à RESA de 90 m, parâmetro previsto pela ANAC, possivelmente não fosse suficiente para conter completamente a aeronave no acidente de 2007, é plausível concluir que a adoção de um sistema de engenharia de escape teria reduzido de forma significativa a severidade do evento. Ao desacelerar progressivamente a aeronave e dissipar parte substancial da energia cinética antes do impacto final, o EMAS teria potencial para mitigar os danos estruturais e a gravidade dos ferimentos. Assim, o acidente de Santa Marta ilustra a vulnerabilidade do sítio aeroportuário e reforça a pertinência de soluções alternativas como o EMAS, cuja eficácia já demonstrada em diferentes cenários de overrun indica maior capacidade de mitigação em situações críticas do que a RESA convencional.



Figure 1: Avião da Embraer ultrapassa a pista e para no mar na Colômbia. Fonte: Portal G1

Para facilitar a compreensão das restrições físicas do sítio aeroportuário, a Figura 2 apresenta a configuração do Aeroporto Internacional Simón Bolívar. Nota-se que ambas as cabeceiras, 01 e 19, são limitadas pelo mar, restando apenas pequenas áreas após o término da pista: aproximadamente 70 m na cabeceira 01, destacado em amarelo, e 55 m na cabeceira 19, destacado em vermelho. Esses espaços são insuficientes para atender às exigências mínimas de faixa de pista e de RESA, evidenciando a limitação do local para a adoção de soluções convencionais de segurança.



Figure 2: Aeroporto Simón Bolívar, Santa Marta, Colômbia. Fonte: Google Earth Pro.

4 APLICAÇÃO E EFICÁCIA DO EMAS EM AEROPORTOS COM ESPAÇO LIMITADO

O EMAS configura-se como uma tecnologia de segurança instalada ao final da pista, composta por materiais com propriedades de deformação controlada, os quais são projetados para absorver a energia cinética de uma aeronave na ocorrência de um *overrun,* por exemplo. Nesse sentido, ao penetrar na estrutura, o trem de pouso gera resistência progressiva que desacelera a aeronave de forma controlada em espaço reduzido, como mostra a figura 3. Dessa forma, o objetivo central do sistema é mitigar a severidade dos acidentes, proteger os ocupantes e preservar a integridade da aeronave, em cenários onde outras formas de contenção são inviáveis (FAA AC 150/5220-22B, 2012).



Figure 3: Penetração do trem de pouso no EMAS. Fonte: eBianch (2018).

A regulamentação brasileira, por meio da IS 154.209-001A da ANAC (2021), reconhece formalmente o EMAS como solução alternativa à RESA nos casos em que a implantação desta se mostra inviável por limitações físicas ou operacionais do sítio aeroportuário. Essa instrução suplementar estabelece que o sistema pode ser aceito como equivalente a uma RESA de 90 m desde que demonstre, por meio de ensaios e certificações, a capacidade de desacelerar a aeronave crítica a uma velocidade de até 50 nós. No contexto do Aeroporto Internacional Simón Bolívar, essa equivalência normativa é particularmente relevante, pois viabiliza uma solução de segurança operacional mesmo diante da ausência de espaço físico para a RESA convencional.

A *Australian Transport Safety Bureau* (ATSB) examinou 120 ocorrências de excursões entre 1998 e 2007, das quais 43 tiveram maior severidade (GODLEY et al., 2009). Os resultados, apresentados na Figura 4, evidenciam a gravidade desses eventos e reforçam a importância de áreas de segurança adequadas para mitigar suas consequências.

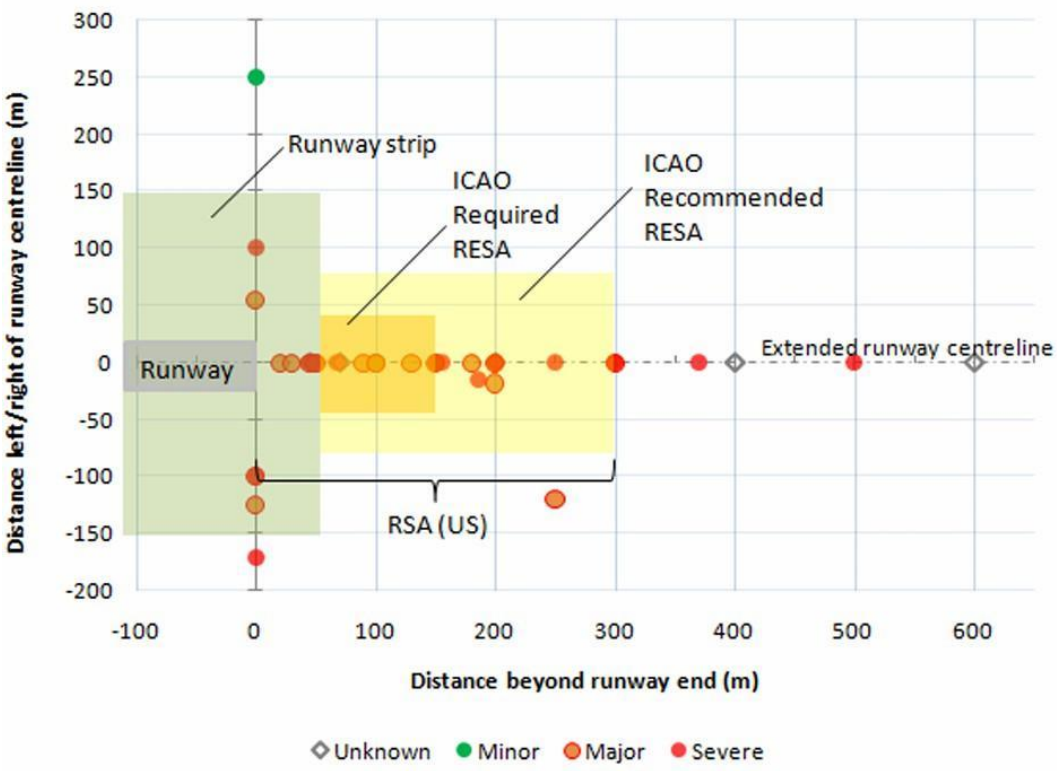


Figure 4: Parada final das aeronaves e extensão dos danos. Fonte: ATSB (2009)

Diante desse contexto, a definição da solução mais adequada para o Aeroporto Internacional Simón Bolívar deve considerar as alternativas internacionalmente reconhecidas para mitigação de excursões de pista. A Tabela 1 resume essas opções, destacando a viabilidade de cada uma delas no sítio aeroportuário em estudo.

Tabela 1: Alternativas e viabilidade para mitigação de excursão de pista no Aeroporto Internacional Simón Bolívar – Brasil, 2025

Alternativa	Viabilidade no SKMS	Observações
RESA convencional (90m) – ICAO	Inviável	Limitação geográfica (mar próximo às cabeceiras).
RESA estendida (240m) - FAA	Inviável	Requer expansão sobre área marítima, inviável técnica e economicamente.
Barreiras físicas/obstáculos	Não recomendável	Aumentam o risco de danos às aeronaves e a terceiros.
EMAS (equivalente a RESA 90-240m)	Viável	Pode ser instalado nas cabeceiras existentes, sem necessidade de expansão territorial.
Restrições operacionais	Parcialmente viável	Impacta negativamente a capacidade operacional e a atratividade do aeroporto.

Fonte: Própria

4.1 Aplicação e eficácia do EMAS

A efetividade do EMAS foi demonstrada no relatório da *Federal Aviation Administration* (2023), que analisou 20 eventos reais de *overrun* entre 1999 e 2022, com 428 ocupantes. Nesse contexto, em nenhum dos casos as aeronaves ultrapassaram os limites do sistema, e não houve registro de fatalidades ou ferimentos graves. Em 95% das ocorrências, os danos às aeronaves foram nulos ou mínimos, o que demonstra que o EMAS cumpre seu propósito fundamental: interromper a corrida da

aeronave em um espaço limitado, mesmo sob condições operacionais adversas. Alguns desses eventos estão sintetizados na Tabela 2, que ilustra a diversidade de aeronaves e cenários em que o sistema foi acionado com sucesso:

Tabela 2: Casos de atuação do EMAS em aeroportos internacionais – Estados Unidos, 2016/2025

Ano	Aeroporto	Aeronave	Resultado	Fatalidades
2016	JFK – Nova Iorque (EUA)	Boeing 747-400	Contenção em 300m de leito	0
2017	GMU – Greenville Downtown (EUA)	Cessna Citation	Contenção total, aeronave preservada	0
2025	ROA – Roanoke-Blacksburg (EUA)	Embraer ERJ-145	Contenção total, aeronave preservada	0
2025	BCT – Boca Raton (EUA)	Bombardier Challenger 300	Contenção total, aeronave preservada	0
2025	PWK – Illinois (EUA)	Gulfstream G150	Contenção total, aeronave preservada	0

Fonte: Port Authority of NY & NJ (2022); FAA (2023); FAA (2025)

Diante desse histórico, observa-se que em aeroportos onde não há possibilidade de expansão para implantação de RESA convencional, como no caso do Aeroporto Internacional Simón Bolívar, o EMAS se apresenta como alternativa viável. Sua aplicação evita a necessidade de grandes obras de terraplenagem e preserva a capacidade operacional da pista, ao mesmo tempo em que aumenta significativamente a segurança das operações.

4.2 Acidentes em aeroportos sem emas

A diferença se torna evidente quando analisados acidentes em aeroportos que não possuíam sistemas de contenção alternativos. Em diversos casos, a ausência de medidas eficazes resultou em elevado quantitativo de vítimas e danos estruturais severos às aeronaves, conforme apresentado na tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Acidentes por saída de pista (*runway excursion*) e seus impactos – Canada, 1977–2018

Ano	Aeroporto	Aeronave	Resultado	Fatalidades
2005	Toronto Pearson (Canadá)	Airbus A340	Aeronave destruída; 43 feridos	0
2007	Congonhas (São Paulo, Brasil)	Airbus A320 (TAM)	Overrun sobre avenida; incêndio	199
2010	Mangalore (Índia)	Boeing 737-800	Pista curta; incêndio	158
2018	Kathmandu (Nepal)	Bombardier Q400	Saída de pista; incêndio	51
2024	Muan (Coreia do Sul)	Boeing 737-800	Overrun, aeronave destruída	179

Fonte: ICAO ADREP (2022); ARAIB(2025)

Os dados mostram que, em situações de overrun sem EMAS, a probabilidade de fatalidades e danos severos é elevada, reforçando o papel do sistema como medida essencial de mitigação de riscos.

4.3 Implicações para o aeroporto de Santa Marta

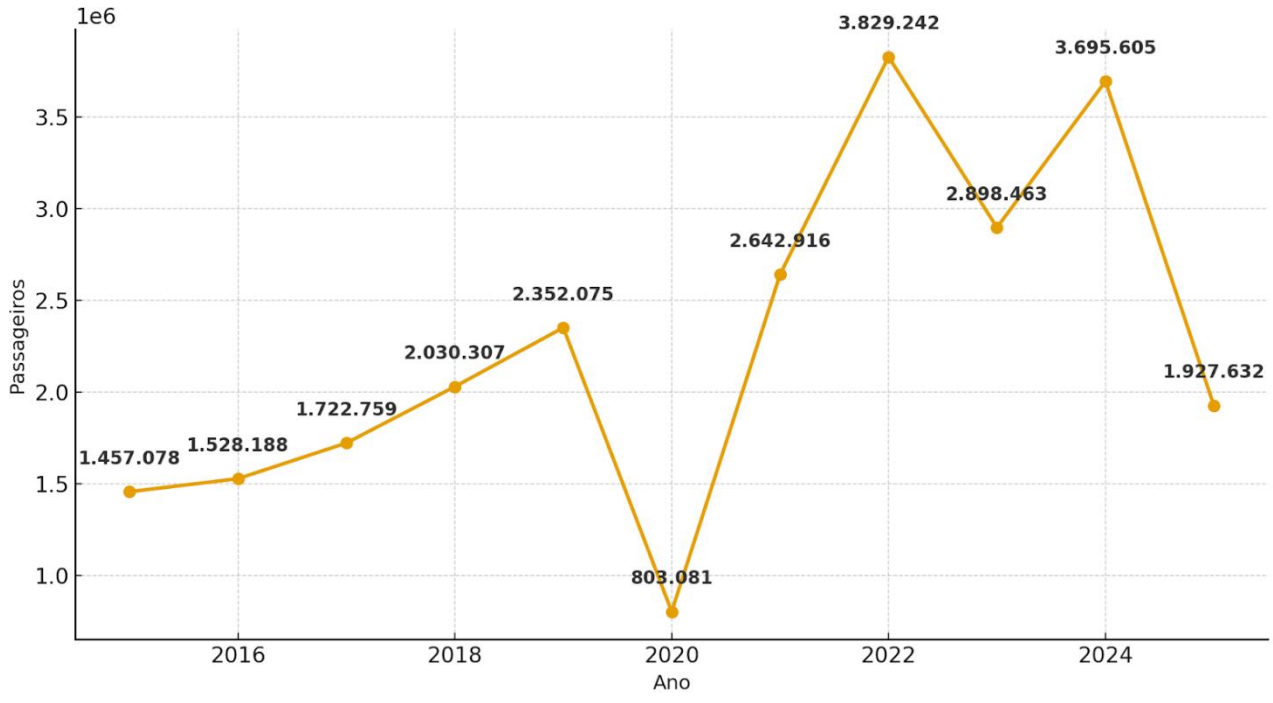
No Aeroporto Internacional Simón Bolívar, a configuração física das cabeceiras inviabiliza a implantação da RESA convencional, pois não há área suficiente para atender aos requisitos mínimos.

A adoção dessa solução implicaria recuo significativo da pista, reduzindo seu comprimento utilizável e comprometendo diretamente a capacidade operacional.

A literatura internacional demonstra que excursões de pista configuram um dos riscos mais recorrentes da aviação comercial. Entre 2004 e 2008, a América Latina apresentou taxa de 1,34 ocorrências por milhão de voos, valor quase três vezes superior à média global de 0,5 (IATA, 2009). No mesmo período, verificou-se que 83% dos casos ocorreram durante o pouso, fase de maior vulnerabilidade operacional (*Flight Safety Foundation*, 2010). De forma semelhante, a EASA (2014) identificou 605 eventos de overrun entre 1990 e 2012, correspondendo a uma frequência média de 0,48 por milhão de movimentos, considerando aeronaves com MTOW superior a 2.250 kg. Já o *National Aerospace Laboratory* (VAN ES, 2005) estimou taxa mundial de 0,5 por milhão de pousos para aeronaves acima de 5.500 kg, com destaque para a América Central e do Sul, onde o índice alcançou 1,35 por milhão de pousos. Esses recortes metodológicos asseguram a representatividade das estatísticas para a aviação comercial moderna, marcada por aeronaves de médio e grande porte.

No Aeroporto Internacional Simón Bolívar, a movimentação cresceu de 1,45 milhão de passageiros em 2015 (AEROCIVIL, 2016) para 3,7 milhões em 2024 (Aerooriente, 2025), consolidando-o como o quinto mais movimentado da Colômbia. O gráfico 1 ilustra essa evolução, que, embora positiva para a região, aumenta a exposição estatística a eventos de overrun. Essa vulnerabilidade é agravada pelo uso de aeronaves como o Embraer 190 cujo Operat*ing Empty Weight* (OEW), peso operacional da aeronave vazia, é de 27,9 t (Embraer, 2021). Em uma pista de apenas 1.700 m e sem espaço para RESA convencional. Nessas condições, a adoção do EMAS torna-se fundamental para mitigar riscos, preservar vidas e assegurar a continuidade operacional.

Gráfico 1: Movimentação anual de passageiros no Aeroporto de Santa Marta, Colômbia, 2015/2025
Fonte: Própria



** Dados de 2025 referem-se apenas ao 1º semestre*

O EMAS, por ser dimensionado com base no desempenho e não em um comprimento fixo, não exige a disponibilidade de 150 m livres após a cabeceira, como ocorre no caso da RESA convencional. O sistema é projetado para desacelerar a aeronave crítica em até 50 nós, podendo ser adaptado às condições físicas de cada sítio aeroportuário. Essa característica é particularmente relevante em Santa Marta, onde não há área suficiente para atender às dimensões normativas de uma RESA. Dessa forma,

o EMAS ajusta-se às restrições existentes, preserva maior extensão operacional da pista e, ao mesmo tempo, assegura um nível superior de segurança em situações de *overrun.*

4.4 Considerações de custo-benefício

O presente estudo não visa dimensionar o EMAS para o Aeroporto Internacional Simón Bolívar nem estimar seu custo específico de implantação, mas sim avaliar sua aplicabilidade como alternativa de segurança frente à RESA convencional. Sob essa ótica, a avaliação de custo-benefício deve ser qualitativa, conforme orientam a FAA Order 5200.9 e a AC 150/5220-22B, que recomendam considerar o ciclo de vida do sistema, a preservação das operações e os custos evitados em acidentes.

O EMAS demonstra ganhos significativos ao reduzir a severidade dos acidentes e eliminar fatalidades em casos já documentados, enquanto a RESA convencional, tecnicamente desfavorável em Santa Marta, apresenta eficácia limitada em cenários críticos. Assim, sua relação custo-benefício é amplamente favorável, não apenas pela dimensão econômica, mas, sobretudo, pela capacidade comprovada de preservar vidas, mitigar danos e manter a continuidade operacional.

5 CONCLUSÃO

A inviabilidade de implantação da RESA convencional no Aeroporto Internacional Simón Bolívar, evidencia a necessidade de soluções capazes de garantir níveis adequados de segurança operacional. Nesse contexto, o EMAS se apresenta como uma alternativa consistente, por ser dimensionado com base em desempenho e não em medidas fixas, o que possibilita sua adaptação às condições locais sem comprometer de forma significativa a extensão útil da pista.

Além dessa flexibilidade de aplicação, o sistema conta com eficácia comprovada, demonstrando sua capacidade de reduzir a severidade de acidentes e evitar fatalidades. Essa característica o torna pertinente em aeroportos com limitações geográficas críticas, como o de Santa Marta, onde a RESA convencional não pode ser implementada sem perdas operacionais consideráveis. Assim, o presente estudo reforça que o EMAS não deve ser visto apenas como alternativa à RESA, mas como medida estratégica de segurança, capaz de compatibilizar a preservação da capacidade operacional com elevados padrões de proteção.

Recomenda-se que investigações futuras explorem simulações de desempenho, análises probabilísticas de risco e estudos de viabilidade econômica, de modo a complementar a abordagem exploratória apresentada e oferecer suporte adicional às autoridades aeronáuticas.

6 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). Instrução Suplementar IS nº 154.209-001A – Projeto de sistemas de desaceleração de aeronaves. Aprovada pela Portaria nº 6.776/SIA, de 21 dez. 2021.

AEROORIENTE. Concesión Aeropuertos de Oriente S.A.S. Aeropuerto de Santa Marta movilizó más de 3,6 millones de pasajeros en 2024. Santa Marta, 2025. Disponível em: https://www.aerooriente.com.co/. Acesso em: 29 set. 2025.

AEROCIVIL. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. Estadísticas de transporte aéreo, 2015. Bogotá, 2016. Disponível em: https://www.aerocivil.gov.co/atencion/estadisticas-de-transporte-aereo. Acesso em: 29 set. 2025.

COLÔMBIA. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil – AEROCIVIL. Informe Final: Accidente avión Embraer ERJ-190-100LR, matrícula HK-4455, vuelo 7330 de AeroRepública, Aeropuerto Simón Bolívar, Santa Marta – Magdalena, 17 de julio de 2007. Bogotá: Grupo de Investigación de Accidentes, 2007. (Relatório COL-07-34-GIA).

COLOMBIA. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. AIP – Publicación de Información Aeronáutica. AD 2 – SKSM – Santa Marta – Simón Bolívar. Bogotá: Aeronáutica Civil de Colombia, [s.d.].

EMBRAER S.A. Embraer 190 – Airport Planning Manual (APM 190-1). Rev. 20. São José dos Campos, SP: Embraer, 2021.

EUROPEAN AVIATION SAFETY AGENCY. Study on models and methodology for safety assessment of Runway End Safety Areas (RESA). Final Report EASA_REP_RESEA_2011_12. Rotterdam: NLR/Ecorys, 30 jul. 2014.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Analysis of the Engineered Materials Arresting System Performance in Runway Overruns. DOT/FAA/CT-TN23/72. Atlantic City: Federal Aviation Administration, Set. 2023.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Advisory Circular 150/5220-22B – Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Runway Safety Areas. Washington, D.C., 2012.

FLIGHT SAFETY FOUNDATION. AeroSafety World. Alexandria: FSF, v. 5, n. 6, p. 46-50, jun. 2010.

GOOGLE EARTH PRO. Simón Bolívar International Airport, Santa Marta, Colombia – Satellite Image Analysis. Santa Clara, CA: Google Inc., 2024.

ICAO – International Civil Aviation Organization. Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation – Aerodromes. Volume I: Aerodrome Design and Operations. 8th ed. Montréal: ICAO, 2018.

ICAO – International Civil Aviation Organization. Procedures for Air Navigation Services – Aircraft Operations (PANS-OPS): Volume I – Flight Procedures. 6th ed. Montréal: ICAO, 2018 (Doc 8168).

INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. Annual Safety Report: Recommendations for Accident Prevention – 61st Edition. Montreal: IATA, 2024.

IATA – International Air Transport Association. Safety Report 2008. 45th edition. April 2009

PRO SANTA MARTA. Santa Marta escala posiciones: su aeropuerto ya es el quinto más importante en movilidad de pasajeros del país. Santa Marta, 2025. Disponível em: https://prosantamartav.org/. Acesso em: 29 set. 2025.

KOREA. Aviation and Railway Accident Investigation Board (ARAIB). Preliminary report on the accident involving Jeju Air Flight 7C2216, aircraft HL8088, at Muan International Airport, Republic of Korea, on 29 December 2024. Seoul: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2025.

TAYLOR, R. P.; GODLEY, S. Runway excursions: Part 2 – Minimising the risk and impact of runway excursions. Canberra: Australian Transport Safety Bureau, 2009. 78 p. (Aviation Research and Analysis Report – AR-2008-034).

TAYLOR, R. P.; HUGHES, K.; GODLEY, S. Runway excursions: Part 1 – A worldwide review of commercial jet aircraft runway excursions. Canberra: Australian Transport Safety Bureau, 2009. 114 p. (Aviation Research and Analysis Report – AR-2008-018(1)).

VAN ES, G. W. H. Running out of runway: analysis of 35 years of landing overrun accidents. Amsterdam: National Aerospace Laboratory NLR, 2005. (NLR-TP-2005-498).