



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---

Gabriel Cordeiro Costa

Prevenção de acidentes em pistas aeroportuárias:  
Estudo de caso e proposta de solução através de EMAS

Ouro Preto

2017

Gabriel Cordeiro Costa

Prevenção de acidentes em pistas aeroportuárias:

Estudo de caso e proposta de solução através de EMAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil

Área de concentração: Materiais de Construção

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. D.Sc. Julia Castro Mendes

Ouro Preto

2017

C837p

Costa, Gabriel Cordeiro.

Prevenção de acidentes em pistas aeroportuárias [manuscrito]: estudo de caso e proposta de solução através de EMAS / Gabriel Cordeiro Costa. - 2017.

34f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.

Orientador: Profa. Dra. Júlia Castro Mendes.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil.

1. Prevenção de acidentes. 2. Acidentes aéreos. 3. Aeroportos. I. Mendes, Júlia Castro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624

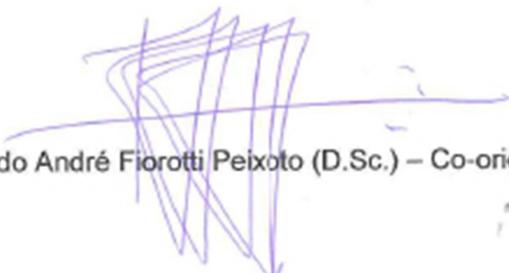
Gabriel Ccrdeiro Costa

Prevenção de acidentes em pistas aeroportuárias:  
Estudo de caso e proposta de solução através de EMAS

Monografia de conclusão de curso  
para obtenção do Grau de Engenheiro  
Civil na Universidade Federal de Ouro  
Preto, defendida e aprovada em 23 de  
Novembro de 2017, pela banca  
examinadora constituída pelos  
professores:



Prof. Júlia Castro Mendes (D.Sc.) – Orientadora – UFOP



Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto (D.Sc.) – Co-orientador – UFOP



Prof. José Maria Franco de Carvalho (M.Sc.) – UFV

## **AGRADECIMENTOS**

Meus sinceros agradecimentos aos meu pais, Regina Cordeiro de Sousa Costa e Domingos Lopes de Araújo Costa, cujos exemplos me motivaram a nunca desistir dos meus sonhos, por mais difíceis que sejam. Obrigado por direcionarem meus caminhos e terem me despertado o profundo amor à aviação bem como o interesse de aplicar os conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia Civil para aumentar a segurança aeroportuária; à professora Julia Castro Mendes por toda dedicação e apoio prestados durante a orientação do presente trabalho; aos professores Ricardo Fiorotti e Guilherme Brigollini pela excelente didática nos cursos de Materiais de Construção 1 e 2, que foram fundamentais para a formulação e empenho neste estudo; à Universidade Federal de Ouro Preto pela qualidade única de ensino.

Dedico este trabalho em memória aos comandantes Henrique Stephanini Di Sacco e Kleyber Aguiar Lima.

“Nós aviadores costumamos reconhecer que em algumas oportunidades apenas a sorte impediu que vôos por nós conduzidos terminassem em desastres, e por isso respeitamos a memória dos companheiros menos afortunados do que nós” (Comandante Carlos Ari César Germano da Silva).

## RESUMO

Nos tempos atuais, muitas tecnologias são peças fundamentais ao contínuo desenvolvimento mundial econômico e social. Neste âmbito, o setor de transportes aéreos possui significativa importância. Com isso, por trás de todas as tecnologias existem também grandes responsabilidades. À medida que as aeronaves são atualizadas, maiores são as velocidades atingidas e a capacidade de carga. Conseqüentemente, mais devastadores são os resultados de acidentes que as envolvam. No tocante às operações aeroportuárias, a tendência é que o fluxo de tráfego aéreo permaneça em crescimento constante, conforme visto nas últimas décadas. Portanto, aeroportos que antes comportavam as exigências do mercado, atualmente não possuem mais áreas de crescimento por estarem envolvidos em grandes centros urbanos. O aeroporto de Congonhas, por exemplo, é um dos mais movimentados do país e sua operação sempre causa apreensões aos pilotos - especialmente em dias chuvosos que resultam em pistas escorregadias. No ano de 2007, neste mesmo aeroporto, ocorreu o desastre envolvendo o voo 3054 da TAM que resultou em 199 vítimas fatais. Dentre os vários fatores contribuintes ao acidente, destacam-se falhas técnicas relacionadas às obras de engenharia da pista em uso. Assim, tendo em vista as dimensões das conseqüências de acidentes como este, surgiu a necessidade de elaborar este estudo, cujo principal objetivo é o de analisar e compreender medidas capazes de aumentar a segurança aeroportuária, principalmente nos casos de excursões de pista. Complementarmente, avalia-se a viabilidade de implantação de uma nova tecnologia já existentes em outros países, chamada *Engineered Material Arresting System* – Sistema de Frenagem por Material de Engenharia (EMAS). Este material compreende uma camada de concreto celular esmagável instalada nas áreas de escapes das pistas de pouso cuja principal função é permitir maior eficiência de frenagem às aeronaves em pane. Embora esta tecnologia esteja ausente em nosso país, há como construí-la adotando materiais alternativos capazes inclusive de baratear seus custos, e capazes de tornar a produção ambientalmente viável. Portanto, não há dúvida que este é um campo favorável a pesquisas e inovações, tendo em vista o grande renome brasileiro no tocante à utilização do concreto em obras civis e que pode resultar em salvar vidas.

**Palavras-Chaves:** EMAS; Concreto Celular; Aditivo Incorporador de Ar; TAM 3054; Infraestrutura Aeroportuária;

## ABSTRACT

In today's world, many technologies are fundamentals to continuous economic and social development. In this context, the air transport sector has significant importance. Consequently, behind all technologies there are also big responsibilities. As aircraft are upgraded, the higher the speeds attained and the carrying capacity. Proportionately, the most devastating are the results of accidents as they involve. With regard to airport operations, the trend and flow of air traffic remained constant, as seen in the last decades. Therefore, airports that formerly behaved as market requirements, there are no more growth areas because they are wrapped in large urban centers. The Congonhas airport, for example, is one of the busiest in the country and its operation always causes apprehensions to pilots - especially on rainy days that result in slippery runways. In 2007, at the same airport, there was a disaster involving TAM flight 3054 resulting in 199 fatalities. Among the several contributing factors to the accident, technical flaws related to the engineering works of the runway in use stood out. Thus, considering the dimensions of the consequences of accidents such as this, the need arose to elaborate this study, whose main objective is to analyze and evaluate measures capable of increasing airport security, especially in cases of runway excursions. In addition, it is evaluated the feasibility of implementing a new technology already existing in other countries, called Engineering Materials Arresting System (EMAS). This material comprises a layer of crushable cellular concrete installed in the escape areas of runways whose main function is to allow greater braking efficiency for aircraft in emergency. Although this technology is absent in our country, there is a way to build it by adopting alternative materials capable of reducing costs and capable of making production environmentally viable. Therefore, there is no doubt that this is a field favorable to research and innovation, given the great Brazilian reputation for the use of concrete in general construction and that can result in saving lives.

**Keywords:** EMAS; Cellular Concrete; Air Incorporating Additive; TAM 3054; Airport Infrastructure;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Aeronave freada após entrar em contato com a superfície do EMAS (Evans, 2010).....	2
Figura 2: Aeronave Beechcraft King Air C90 cujo peso máximo de decolagem é de 5800kg (Beechcraft Textron Aviation, 2017). ....	4
Figura 3: Rotaer referente ao aeroporto Tancredo Neves da cidade de Belo Horizonte, MG. Informações relacionadas às dimensões da pista e ao PCN se encontram dentro do retângulo vermelho (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2017).....	5
Figura 4: ROTAER referente ao Aeroporto de Congonhas (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2017). ....	7
Figura 5: Desenho esquemático das distâncias declaradas. ....	8
Figura 6: Percentual de distribuição dos casos de acidentes aeronáuticos. (International Air Transport Association, 2017) .....	10
Figura 7: Saída de pista na aviação civil brasileira (considerando apenas aeronaves a jato) (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2013).....	11
Figura 8: Principais fatores contribuítes para saídas de pista (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2013). ....	12
Figura 9: : Aeronave freada pelo EMAS após excursão em pista (Ho & Romero, 2009).....	13
Figura 10: Aeronave freada pelo EMAS após excursão em pista (Ho & Romero, 2009). ....	14
Figura 11: Equivalência entre 600 pés de EMAS e 1000 pés de área de escape (Federal Aviation Administration, 2005). ....	15
Figura 12: Local de Impacto e destroços da aeronave (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2009).....	17
Figura 13: Imagem de Satélite da área de escape da pista 35L (Google Maps, 2017). ....	20

Figura 14: Topografia com grande declividade ao final da área de escape da 35L em Congonhas (Google Maps, 2017). .....	21
Figura 15: Distância possível de aumento da área de escape da pista 35L (Google Maps, 2017). .....	22
Figura 16: Conexão da pista de taxi com a cabeceira da pista 17R .....	23
Figura 17: Simulação da mudança da pista de taxi para o alinhamento das aeronaves (Google Maps , 2017). .....	24
Figura 18: Pista de taxi deslocada até a cabeceira 17R. ....	25
Figura 19: Simulação da pista de decolagem após emprego do EMAS e pistas de táxi inativas em vermelho. ....	26
Figura 20: Trajetória da aeronave TAM 3054 (G1 - Portal de Notícias da Globo, 2007) .....	27
Figura 21: Simulação da implantação dos EMAS secundários e pista de táxi prolongada até a cabeceira da pista. ....	28
Figura 22: Blocos pré fabricados de concreto celular disponíveis no mercado brasileiro (AVS, 2017). .....	29
Figura 23: Blocos pré fabricados de concreto celular em construção civil brasileira (AVS, 2017). .....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de resistência de subleito para aplicação do método ACN-PCN em pavimentos rígidos (Agência Nacional de Aviação Civil, 2016). .....	6
Tabela 2: Valores de resistência de subleito para aplicação do método ACN-PCN em pavimentos flexíveis ou mistos (Agência Nacional de Aviação Civil, 2016). ..	6

## LISTA DE SIGLAS

17R – Pista 17 Direita

35L – Pista 35 Esquerda

ACN – *Aircraft Classification Number* – Número de classificação de Aeronave

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

ASDA – *Accelerate-Stop Distance Available* - Distância disponível para aceleração e parada

CBR – *California Bearing Ratio* – Índice de Suporte Califórnia

CENIPA - Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos

EAPP – Escória de Aciaria Pós Processada

EMAS – *Engineered Material Arresting System* – Sistema de Frenagem por Material de Engenharia.

FAA – *Federal Aviation Administration* – Administração Federal da Aviação

IATA – *International Air Transport Association* – Associação Internacional de Transporte Aéreo;

ICAO – *International Civil Aviation Organization* – Organização Internacional da Aviação Civil

IS – Instrução Suplementar

Kt – Milhas náuticas por hora(nós).

LDA – *Landing Distance Available* – Distância disponível para pouso considerando operações normais.

MOA – Manual de Operações do Aeroporto

OACI – Organização da Aviação Civil Internacional;

PCN – *Pavement Classification Number* – Número de Classificação de Pavimento

RBAC – Regulamento Brasileiro de Aviação Civil

RESA – *Runway End Safety Area* – Área de Escape

ROTAER - Publicação Auxiliar de Rotas Aéreas;

TODA – *Take-Off Distance Availabe* – Distância disponível para decolagem.

TORA – *Take Off Runway Available* – Pista disponível para corrida de decolagem.

VASP – Viação Aérea São Paulo

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO .....	II
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	V
LISTA DE SIGLAS.....	VI
SUMÁRIO .....	VIII
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo Geral .....	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Projetos de pistas aeroportuárias .....	3
2.1.1 Resistência dos pavimentos.....	3
2.1.2 Distâncias Declaradas .....	7
2.2 Excursão de pista .....	9
2.3 EMAS .....	13
3 METODOLOGIA .....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	17
4.1 Estudo de caso: Vôo TAM 3054 .....	17
4.2 Proposta de Alteração da Pista .....	19
4.3 Proposta Construtiva .....	28

5	CONCLUSÃO .....	32
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	33
7	REFERÊNCIAS.....	34

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre os variados setores de transportes existentes no Brasil, o aeroviário é o que mais tem se destacado nas últimas décadas devido a sua rapidez e capacidade de carga. O período compreendido entre os anos de 2005 e 2007 foi marcado por muitas transformações no mercado da aviação civil. Em 26 de Janeiro de 2005 a companhia aérea VASP (Viação Aérea São Paulo) encerrou suas atividades (G1 - Jornal da Globo, 2008) e em Julho de 2006 (G1 - Jornal da Globo, 2007) foi a vez da VARIG (Viação Aérea Rio-Grandense) anunciar o término de suas operações. Com o fechamento das duas maiores e mais antigas companhias aéreas brasileiras, o mercado sobrecarregou as demais empresas existentes, cuja frota não era suficiente para absorver todos os passageiros. Adicionalmente, a recente Gol Linhas Aéreas, fundada no ano 2001 (Gol Linhas Aéreas Inteligentes, 2017), revolucionou o setor ao tornar os preços das passagens mais acessíveis à população.

Com o mercado em alta, os números de vôos e destinos atendidos cresceram drasticamente e conseqüentemente, a infraestrutura aeroportuária e também de tráfego aéreo não supriram todas as necessidades da época, dando origem ao chamado “Apagão Aéreo de 2006” (Jornal da Globo, 2006). Em meio a este caos, dois grandes acidentes aéreos aconteceram, resultando num total de 353 mortes. Um deles com o vôo 1907 da Gol no estado do Mato Grosso e o outro com o vôo 3054 da Tam no aeroporto de Congonhas, na grande São Paulo.

Sempre que ocorre uma tragédia com muitas vítimas fatais, seja ela proveniente das forças da natureza ou por situações adversas, surge a necessidade de se conhecer causas para que situações semelhantes sejam evitadas. Sob este aspecto, a atuação da Engenharia Civil pode ser de fundamental importância para a segurança aeroportuária. É necessária uma colaboração tanto para que exista uma infraestrutura adequada a atender a demanda operacional, quanto para a criação de estruturas capazes de evitar ou atenuar as chances de ocorrência de acidentes em solo, como por exemplo o caso do vôo 3054 da TAM, e também os diversos casos bastante comuns de excursões de pista.

Neste cenário, observa-se grande interesse na implantação de sistemas alternativos de frenagem emergencial. Um exemplo é o EMAS (*Engineered Material*

*Arresting System*) (Figura 1), um tipo de pavimento de baixa densidade, que pode ser constituído por concreto celular esmagável ou por vidro reciclável e malha de plástico de alta resistência (Federal Aviation Administration, 2005). Geralmente é construído na área de escape das pistas e suas características físicas permitem que seja esmagado caso sujeite-se a esforços maiores que os de projeto, aumentando com isso o atrito entre os pneus das aeronaves e o pavimento, possibilitando maior eficiência de frenagem.



Figura 1: Aeronave freada após entrar em contato com a superfície do EMAS (Evans, 2010).

Assim, o presente trabalho busca analisar os fatores contribuintes às variadas ocorrências de solo em pistas aeroportuárias, mais especificamente, de excursões. Neste âmbito serão averiguados pontos falhos ligados à Engenharia Civil que se relacionaram ao acidente da TAM, como por exemplo baixo coeficiente de atrito da pista e falta de fiscalização de obras. Resultando no objetivo de evitar tragédias semelhantes e contribuir para a melhoria da segurança do sistema de transporte aéreo no Brasil.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Compreender os fatores contribuintes ao acidente do voo TAM 3054 relacionados aos aspectos construtivos da pista e propor uma alternativa de frenagem emergencial e que seja tecnicamente viável ao cenário brasileiro.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Compreender os mecanismos de solicitação em pistas de decolagem/pouso;
- Levantar casos de excursões de pistas no Brasil;
- Realizar estudo de caso do acidente da TAM.
- Investigar soluções;
- Compreender e propor aplicação do EMAS.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Projetos de pistas aeroportuárias**

Para que se tenha entendimento sobre as solicitações em pistas de decolagem e pouso, deve-se ter ciência primeiramente dos parâmetros obrigatórios de projeto. Inicialmente todo e qualquer pavimento aeroportuário deve ser construído em conformidade com o Anexo 14 da Organização Internacional da Aviação Civil (OACI) para que seja certificado posteriormente pela ANAC, segundo o RBAC 139 (Agência Nacional de Aviação Civil, 2012).

#### **2.1.1 Resistência dos pavimentos**

Segundo o International Civil Aviation Organization (2009), a capacidade resistente do pavimento destinado a aeronaves cuja massa seja maior que 5700kg deve ser dimensionada de acordo com o método ACN-PCN (*aircraft classification number – pavement classification number* – número de classificação da aeronave – número de classificação do pavimento). Para efeito comparativo, uma aeronave turboélice Beechcraft King Air C90, mostrada na Figura 2, possui peso máximo de decolagem de 5800kg e é bastante utilizada na aviação executiva de médio porte. Este método divulga as seguintes informações referentes à pista:

- a) Número de classificação do pavimento (PCN);
- b) Tipo de pavimento;
- c) Categoria de resistência do subleito;
- d) Valor ou categoria de pressão máxima do pneu;
- e) Método de avaliação;



Figura 2: Aeronave Beechcraft King Air C90 cujo peso máximo de decolagem é de 5800kg (Beechcraft Textron Aviation, 2017).

Resumidamente, este método “tem por finalidade a aferição da resistência do pavimento em função das características da aeronave (expressa pelo ACN) e do pavimento (expressa pelo PCN), sendo estruturado de maneira que um pavimento com um determinado valor de PCN seja capaz de suportar, sem restrições, uma aeronave que tenha um valor de ACN inferior ou igual ao valor do PCN do pavimento, obedecidas as limitações relativas à pressão dos pneus” (Agência Nacional de Aviação Civil, 2016).

Em termos práticos, este método é utilizado pelos pilotos durante a fase de planejamento de voo a fim de verificar a viabilidade do voo ao aeródromo de destino bem como ao aeródromo alternativo. Os dados PCN de cada pista são

disponibilizados aos pilotos através do ROTAER (Publicação Auxiliar de Rotas Aéreas), publicado pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Figura 3).



Figura 3: Rotaer referente ao aeroporto Tancredo Neves da cidade de Belo Horizonte, MG. Informações relacionadas às dimensões da pista e ao PCN se encontram dentro do retângulo vermelho (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2017).

Essa classificação representa as seguintes informações:

- 3000x45: Dimensões da pista. 3000m de comprimento por 45m de largura.
- ASPH: Pavimento asfáltico.
- 83: número do PCN.
- F: Pavimento Flexível.
- B: Categoria do subleito (descrito nos próximos tópicos).
- W: Sem limite de pressão máxima para os pneus das aeronaves.
- T: Método de avaliação técnica

As demais siglas presentes que não foram explicitadas, como por exemplo L14A,15,18, são informações adicionais de luzes presentes no aeródromo e não são pertinentes ao presente trabalho.

Para melhor compreender a classificação PCN, deve-se ter conhecimento sobre as legendas características referentes às informações de tipo de pavimento, categoria de resistência do subleito, valor ou categoria de pressão máxima do pneu e método de avaliação. As informações a seguir, obtidas segundo o anexo 14 da

OACI (International Civil Aviation Organization, 2009) explicitam os parâmetros envolvidos na classificação PCN:

1) Tipo de pavimento:

**R:** Pavimentos Rígidos;

**F:** Pavimentos Flexíveis;

2) Categoria de resistência do subleito: (Tabela 1 e Tabela 2)

Tabela 1: Valores de resistência de subleito para aplicação do método ACN-PCN em pavimentos rígidos (Agência Nacional de Aviação Civil, 2016).

<b>Categoria do subleito</b> [1]	<b>Resistência do subleito k</b> (MN/m <sup>3</sup> ) [2]	<b>Resistência do subleito normalizada k</b> (MN/m <sup>3</sup> ) [3]	<b>Código</b> [4]
Alta	$k \geq 120$	150	A
Média	$60 < k < 120$	80	B
Baixa	$25 < k \leq 60$	40	C
Ultrabaixa	$k \leq 25$	20	D

Tabela 2: Valores de resistência de subleito para aplicação do método ACN-PCN em pavimentos flexíveis ou mistos (Agência Nacional de Aviação Civil, 2016).

<b>Categoria do subleito</b> [1]	<b>Resistência do subleito CBR</b> [2]	<b>Resistência do subleito normalizada CBR</b> [3]	<b>Código</b> [4]
Alta	$CBR \geq 13$	15	A
Média	$8 < CBR < 13$	10	B
Baixa	$4 < CBR \leq 8$	6	C
Ultrabaixa	$CBR \leq 4$	3	D

3) Valor ou categoria de pressão máxima do pneu:

**W:** Sem limite de pressão;

**X:** Pressão limitada a 1,75 MPa;

**Y:** Pressão limitada a 1,25 MPa;

**Z:** Pressão limitada a 0,25 MPa.

4) Método de avaliação:

**T:** Método de avaliação técnica;

**U:** Método experimental.

Uma vez conhecidas as informações acima, pode-se ler com clareza os dados apresentados no ROTAER sobre as pistas de pouso e decolagem, como por exemplo do Aeroporto de Congonhas da cidade de São Paulo conforme Figura 4:



Figura 4: ROTAER referente ao Aeroporto de Congonhas (Departamento de Controle do Espaço Aéreo, 2017).

O conteúdo destacado pelo retângulo vermelho na imagem acima possui as informações características da pista cujas cabeceiras são 17R e 35L (17 direita e 35 esquerda, referentes à direção magnética à qual se direcionam; no caso, 170 e 350 graus magnéticos). Em relação aos dados de PCN tem-se: PCN 50, pavimento flexível (F), subleito de categoria média, B, cuja resistência normalizada possui CBR=10, e o método de avaliação utilizado foi o técnico (T).

### 2.1.2 Distâncias Declaradas

Além das obrigatoriedades de resistência dos pavimentos das pistas aeroportuárias previstas no Anexo 14 da ICAO, também devem ser respeitados

aspectos dimensionais mínimos, conhecidos como Distâncias Declaradas (*Declared Runway Distances*), que determinam as distâncias principais que devem existir e é onde a área de escape (RESA - *Runway Escape Safety Area*) é prevista, conforme apresentado na Figura 5:

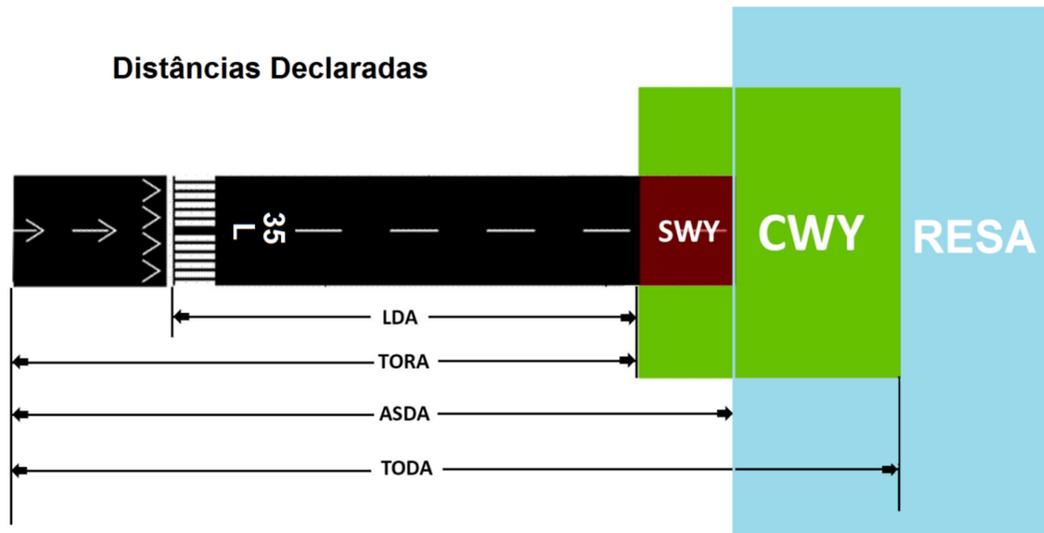


Figura 5: Desenho esquemático das distâncias declaradas.

As distâncias declaradas basicamente representam as distâncias de segurança para as aeronaves de acordo com a pista utilizada. As nomenclaturas utilizadas facilitam o entendimento:

- LDA = *Landing Distance Available* – Distância disponível para pouso considerando operações normais.
- TORA = *Take Off Run Available* – Pista disponível para corrida de decolagem.
- ASDA = *Accelerate-Stop Distance Available* = Distância disponível para aceleração e parada – Utilizada geralmente em caso de decolagem abortada.
- TODA = *Take-Off Distance Available* – Distância para corrida de decolagem + zona desimpedida (*Clear Way*) – Geralmente utilizada para corrida de decolagem onde houve pane após superada a velocidade máxima de parada.

- SWY = *Stop Way* – Área de parada – Se trata da área pavimentada existente ao final da pista de pouso e decolagem. Utilizada apenas em casos emergenciais para garantir um prolongamento de superfície de frenagem.
- CLR = *Clear Way* – Área livre de obstáculos – É uma área compreendida no prolongamento da pista de pouso e decolagem, após a área de parada. Se caracteriza por não ter obstáculos significativos para as aeronaves.

Conforme apresentado na Figura 5, a RESA é uma área desimpedida de escape cuja função é oferecer maior segurança às aeronaves em caso de falhas, portanto, sua ausência, além de comprometer a segurança operacional se caracteriza como desconformidade perante as exigências da Organização Internacional da Aviação Civil.

## **2.2 Excursão de pista**

Excursão de pista (*runway excursion*) consiste no fato de uma aeronave ultrapassar o limite físico de uma pista de pouso/decolagem em sua extremidade final (*runway overrun*) ou lateral (*runway veer-off*) (Flight Safety Foudation, 2009).

De acordo com a Associação Internacional de Transporte Aéreo (*International Air Transport Association – IATA*), em seu documento *Safety Report* (Relatório de Segurança), casos de runway/taxiway excursion foram a categoria de acidentes que mais ocorreu no ano de 2016, compondo 19% do número total de acidentes. (International Air Transport Association, 2017), conforme apresentado na Figura 6:

## Categoria de Distribuição de Acidentes (2012-2016)

Distribuição de acidentes como porcentagem do total

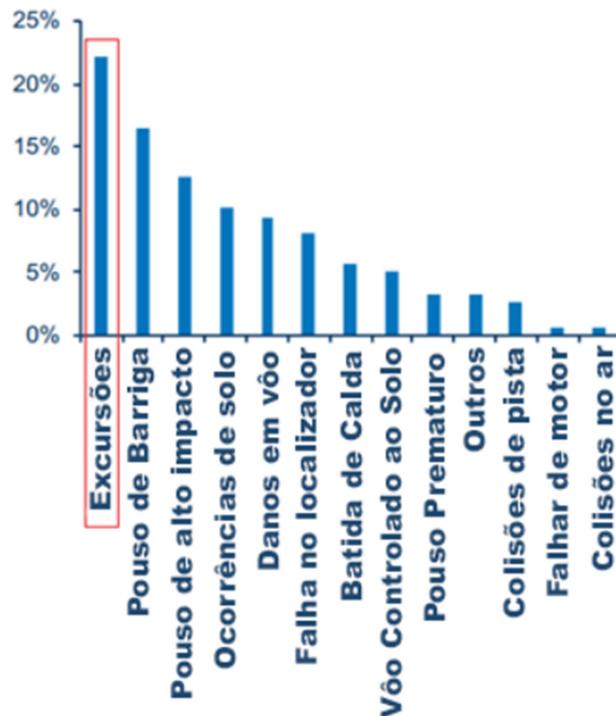


Figura 6: Percentual de distribuição dos casos de acidentes aeronáuticos.

(International Air Transport Association, 2017)

Durante o período de 2012 a 2016, 83% das excursões de pista ocorreram na fase de pouso (International Air Transport Association, 2017). Dentre os vários fatores contribuintes para este tipo de ocorrência, destacam-se falhas operacionais durante o pouso (46% do casos), más condições meteorológicas (49% dos casos), problemas físicos aeroportuários como falhas dos pavimentos (37% dos casos) e por fim, falhas mecânicas das aeronaves (11% dos casos) (International Air Transport Association, 2017).

De maneira semelhante aos dados estatísticos internacionais apresentados pela IATA, o CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) também procura analisar as ocorrências de solo ocorridas dentro do território

brasileiro com a preocupação de reduzir tais incidências. Com este intuito, os resultados são divulgados à comunidade aeronáutica anualmente através de suas plataformas de comunicação, conforme Figura 7 e Figura 8 datadas de 2013:

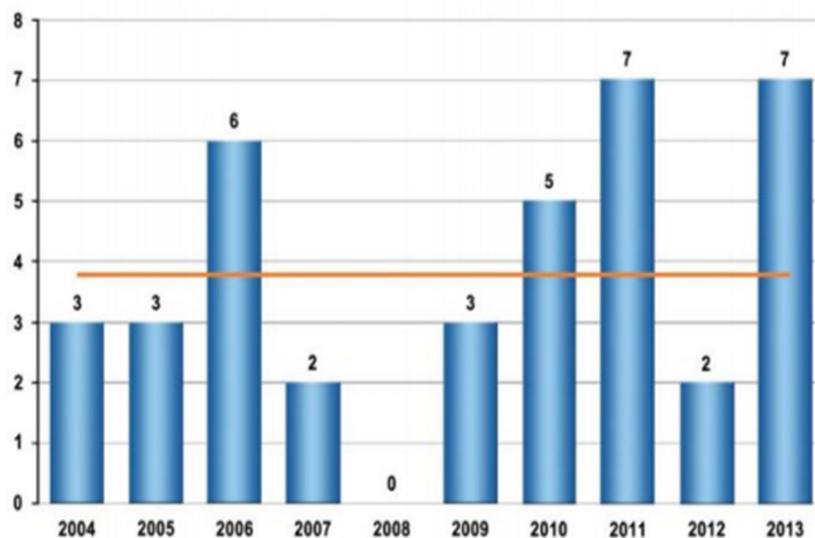


Figura 7: Saída de pista na aviação civil brasileira (considerando apenas aeronaves a jato) (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2013).

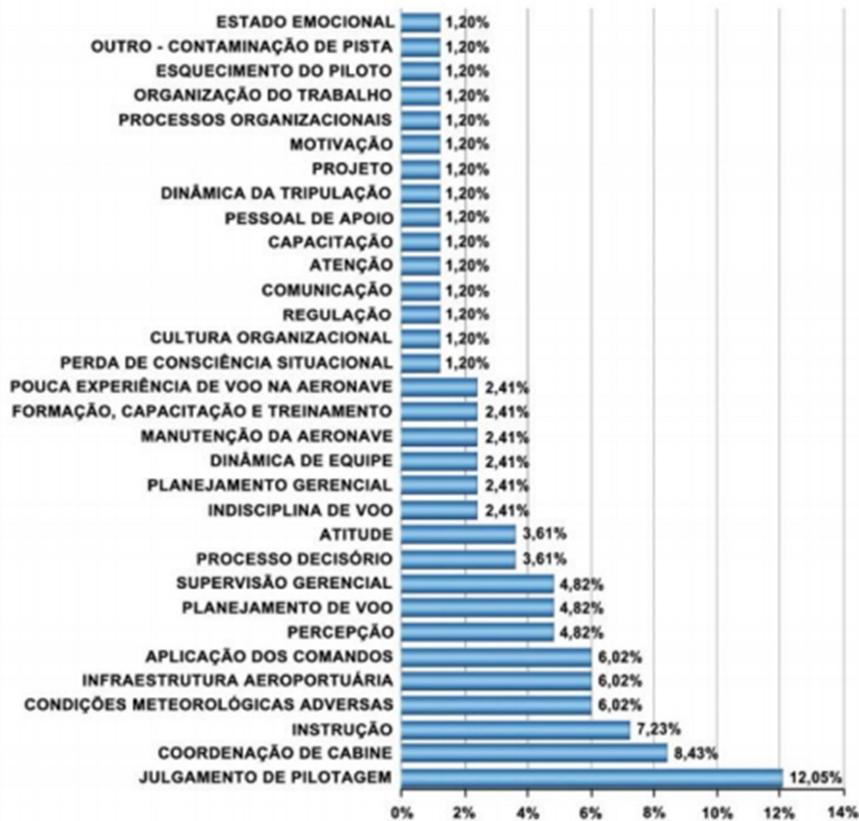


Figura 8: Principais fatores contribuintes para saídas de pista (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2013).

Conforme observa-se nos gráficos, as excursões em pista compõem um número bastante significativo para ser analisado. De acordo com a Figura 7, a média de ocorrência é de 3,8 excursões ao ano. Embora este número não pareça significativo e em sua maioria não há perdas de vidas humanas, pode ser que em algumas delas tenhamos por exemplo tragédias como a da TAM, cujo número de vítimas fatais foi considerável. Além do fator humano, há também diversos fatores econômicos que são impactados nestas ocorrências. Dentre eles, destacam-se os danos materiais, a imagem negativa transmitida pela mídia e conseqüentemente a diminuição da confiabilidade dos passageiros pela empresa. Como resultado, tem-se menor venda de bilhetes aéreos e menores números de contratos de transporte de cargas.

## 2.3 EMAS

Perante a grande ocorrência de casos envolvendo excursões em pistas, criou-se a necessidade de estudos capazes de apontar alternativas de minimizar os danos provocados nestes incidentes.

Na década de 90, a FAA iniciou suas pesquisas a fim de determinar meios que aumentassem a segurança aeroportuária onde as áreas de escape não fossem capazes de atingir a extensão recomendada, no caso, de 1000 pés ou 300 metros que são vigentes até a presente data. (Federal Aviation Administration, 2017)

Neste âmbito, uma nova tecnologia capaz de melhorar a eficiência de frenagem das aeronaves emergiu. O chamado Engineered Material Arresting System (EMAS) utiliza material esmagável em sua composição, o qual geralmente se trata de concreto celular cuja porosidade garante o esmagamento perante solicitações pré-dimensionadas de cálculo (neste caso, a carga da aeronave) (Figura 9 e Figura 10) ( Federal Aviation Administration, 2012).



Figura 9: : Aeronave freada pelo EMAS após excursão em pista (Ho & Romero, 2009).



Figura 10: Aeronave freada pelo EMAS após excursão em pista (Ho & Romero, 2009).

Em teoria, uma superfície padrão de EMAS com extensão de 300 metros é capaz de frear totalmente uma aeronave que tenha extrapolado os limites da pista em uma velocidade de até 80 nós (aprox.150km/h). Esta é uma velocidade relativamente alta, uma vez que a velocidade de aproximação de uma aeronave comercial comum ao cenário brasileiro é de aproximadamente 150 nós (o equivalente a 280km/h) (considerando um Boeing 737-700 ou um Airbus A320) (Federal Aviation Administration, 2005).

Este tipo de tecnologia, embora relativamente nova, tem se mostrado bastante eficiente, e até a data de 31 de Dezembro de 2015 foi implantada em aproximadamente 500 pistas Norte-Americanas. Desde a implantação do EMAS até a data mencionada, foram contabilizados 12 casos de excursões de pistas, nos quais em todos verificou-se 100% de eficiência do sistema e um total de 282 pessoas resguardadas (Federal Aviation Administration, 2017).

De acordo com o Anexo 14 da ICAO (International Civil Aviation Organization, 2009), a distância recomendada para as áreas de escape são de 1000 pés, cerca de 300m. Embora esta seja a extensão de projeto da maioria dos EMAS, pode-se encontrá-los com até 600 pés (aproximadamente 182m), cuja eficiência se iguala a uma área de escape padrão de 1000 pés (Figura 11). Isto faz com que esta tecnologia seja uma alternativa segura para aeroportos que não tenham espaço suficiente para atender aos mínimos requeridos. Esse fato não é raro, como, por exemplo, os aeroportos que foram construídos antes da normatização destas áreas entrar em vigor ou em aeródromos presentes em áreas restritas e pequenas como em grandes centros urbanos (Federal Aviation Administration, 2005)

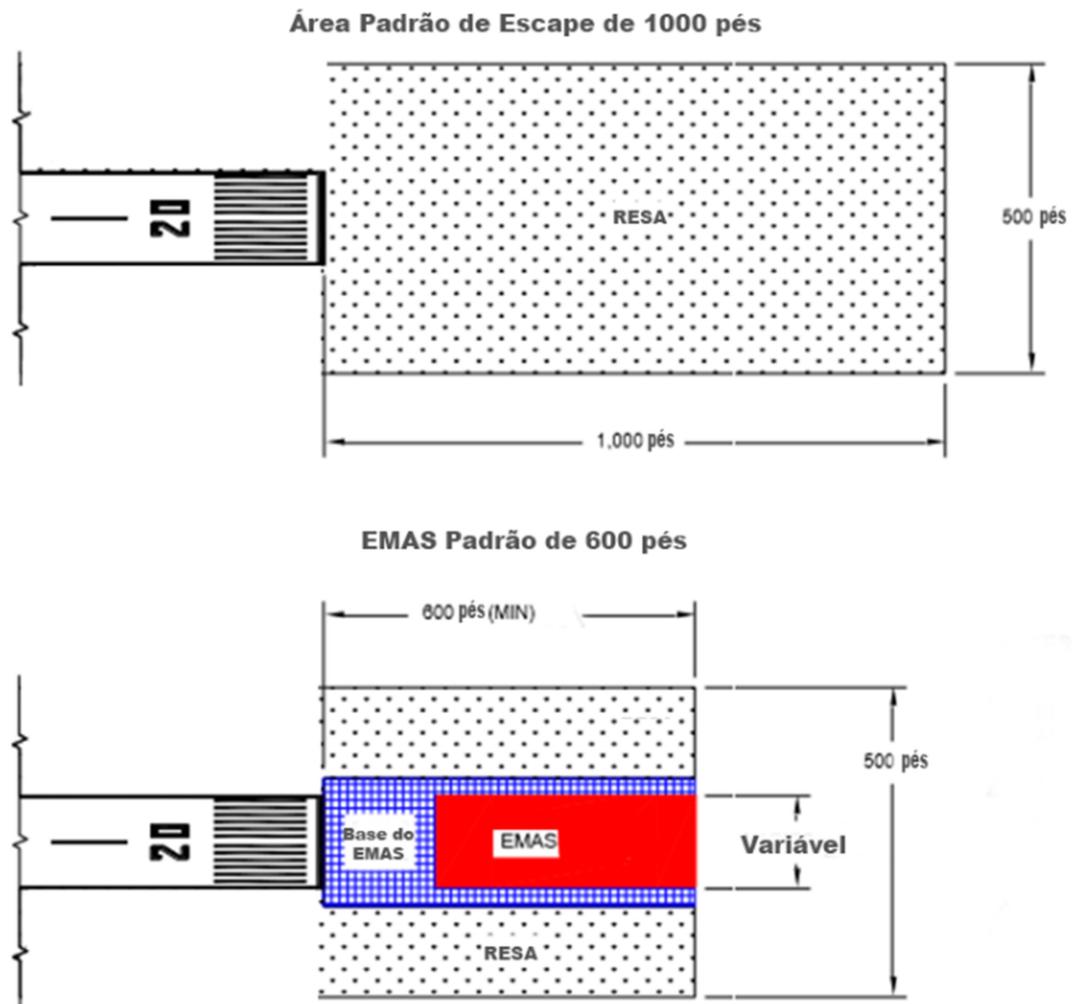


Figura 11: Equivalência entre 600 pés de EMAS e 1000 pés de área de escape (Federal Aviation Administration, 2005).

Sobre os custos de aplicação, estes variam de acordo com as dimensões construídas. De acordo com as pesquisas realizadas por Chun-Hsing Ho e Pedro Romero (2009), da Universidade de Utah, os preços variam entre 18 dólares americanos por pé cúbico (equivalentes a 2.000,12 reais por metro cúbico<sup>1</sup>) e 98 dólares americanos por pé cúbico (equivalentes a 10.889,54 reais por metro cúbico<sup>1</sup>) (Ho & Romero, 2009). Para melhor exemplificar, o custo de implantação do EMAS do aeroporto regional de Roanoke, do estado da Virgínia, nos Estados Unidos, foi de 6,25 milhões de dólares, o equivalente a 19,66 milhões de reais, para uma área construída de 91m de comprimento, por 51m de largura e 0,381m de espessura (Ho & Romero, 2009). Ainda neste aspecto, ao ser analisado o custo da tecnologia em moeda brasileira, evidencia-se o preço elevado, fato este que pode ser um dos motivos dos quais ainda não foi implementado no país. Outro grande ponto a ser analisado é a falta de uma visão sistêmica de manutenção e melhoria das pistas brasileiras, que infelizmente só passam por reformas após tragédias iminentes ou concretizadas.

Mesmo sendo um conceito relativamente novo no mundo da aviação, não há dúvidas de que sua utilização seja contribuinte à segurança operacional aeroportuária. Embora seja mais comum nos Estados Unidos, a utilização do concreto celular não é exclusiva deste país, pelo contrário, é bastante difundida pelo mundo no ramo da construção civil. Em outras palavras, essa é uma tecnologia acessível e viável de ser empregada nos aeroportos.

---

<sup>1</sup> Cotação referente ao dia 03/10/2017: US\$ 1,00 = R\$ 3,146

### 3 METODOLOGIA

Para a elaboração do presente trabalho, foi avaliado o relatório final do acidente do voo TAM 3054 e destacados os principais fatores contribuintes ao acidente que estão relacionados à engenharia civil. Em seguida, diversos trabalhos e publicações técnicas à respeito da funcionalidade do EMAS foram avaliados conforme exposto anteriormente no item 2.4.

As normas técnicas construtivas das pistas de pousos e decolagens foram analisadas de acordo com as portarias dos órgãos competentes. No caso do brasileiro, pela ANAC. A âmbito internacional, através das publicações da OACI.

Uma vez conhecidos os parâmetros de funcionalidade e os problemas das pistas aeroportuárias, foram-se estudados os fatores agravantes ao acidente do Tam 3054. No que diz respeito à utilização do EMAS, foi possível planejar uma alternativa capaz de aumentar a segurança da atividade aérea no Brasil devido à redução dos riscos de excursão de pista que esta tecnologia pode oferecer.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 4.1 Estudo de caso: Voo TAM 3054

No dia 17 de Julho de 2007, o aeroporto de Congonhas na grande São Paulo foi cenário de um trágico acidente aéreo que resultou em 199 vítimas fatais (Figura 12) (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2009).



Figura 12: Local de Impacto e destroços da aeronave (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2009).

A aeronave, operada pela TAM Linhas Aéreas, realizava o vôo JJ3054 de Porto Alegre com destino a Congonhas e, durante o pouso, após tocar a pista 35L, não desacelerou como previsto, desviou para a esquerda da pista e se chocou com um posto de gasolina e com um prédio do próprio operador.

De acordo com os vários fatores contribuintes ao acidente, destacaram-se dois: condições meteorológicas (chuva) que contribuíram para a diminuição do atrito entre o pneu da aeronave e a pista e também má infraestrutura aeroportuária. Esta última está relacionada às obras que estavam sendo realizadas frequentemente naquele período, como observa-se no trecho do relatório a seguir, retirado do (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2009):

“De acordo com os fatos levantados, o aeroporto havia passado por um período prolongado de problemas, especialmente em seu complexo de pistas.

A pista principal de Congonhas apresentava desde 2005, baixos coeficientes de atrito e irregularidades na sua superfície, ensejando o acúmulo de água. Estas duas características acabavam facilitando a ocorrência de derrapagens e aquaplanagens.

Várias foram as soluções paliativas tentadas pela administração aeroportuária, entre as quais: a utilização de pavimento rugoso, a retexturização e o aumento na frequência do serviço de desemborrachamento.

Todas estas ações, entretando, concentravam-se no problema do atrito, deixando latentes as irregularidades na superfície do pavimento. Assim, mesmo com coeficientes de atrito acima dos mínimos estabelecidos, continuava ineficiente o escoamento da água das chuvas e derrapagens e aquaplanagens continuavam a ser registradas.

No início de 2007, o complexo de pistas de Congonhas foi, finalmente, submetido a uma recuperação. Com isso, buscou-se corrigir não apenas as irregularidades superficiais, como também os problemas de inclinação e caimento, de modo a eliminar os acúmulos d'água. Com o novo pavimento, elevou-se o coeficiente de atrito.

Havia, portanto, uma grande expectativa de que as obras realizadas acabassem definitivamente com todos os problemas crônicos da pista.

Entretanto, como seria ainda necessário algum tempo até que o asfalto estivesse em condições de receber o “grooving”, a administração aeroportuária decidiu colocar a pista principal em operação mesmo sem aquelas ranhuras, o que ocorreu no dia 29 de junho de 2007.

Enfim, as condições de operação em Congonhas proporcionavam uma sensação de desconforto aos pilotos, de acordo com o que foi apurado nas entrevistas. Esse desconforto se dava, justamente, em virtude de falta de opções em caso de emergências. Segundo os entrevistados, aquele aeroporto oferecia pouca ou nenhuma margem para erros ou falhas”

Além das falhas técnicas decorrentes das obras de pavimentação, foi comprovado que o aeroporto de Congonhas não possuía Certificado Operacional e como consequência, não possuía um MOA (Manual de Operações do Aeroporto) aprovado pelo órgão fiscalizador, cuja principal função é conter os procedimentos de medição referentes à segurança do aeroporto. Outro fator bastante preocupante era a ausência de área de escape (RESA) (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos, 2009), prevista pelo Anexo 14 da ICAO.

#### **4.2 Proposta de Alteração da Pista**

Atualmente a pista 35L de Congonhas conta com uma área de escape (localizada no final da pista de pouso) de aproximadamente 400 pés (120m) como pode ser observado na imagem de satélite a seguir, obtida pela plataforma Google Maps (Figura 13):



Figura 13: Imagem de Satélite da área de escape da pista 35L (Google Maps, 2017).

Pelos dados acima nota-se que a dimensão da área de escape não cumpre os 1000pés (300m) recomendados pelo Anexo 14 da OACI, fato este que pode ser sub-entendido devido à topografia do terreno (Figura 14):



Figura 14: Topografia com grande declividade ao final da área de escape da 35L em Congonhas (Google Maps, 2017).

Na possibilidade de corrigir a topografia por meio de aterros seria possível prolongar a área de escape em no mínimo 80m (262 pés) e no máximo 100m (328 pés) (Figura 15):



Figura 15: Distância possível de aumento da área de escape da pista 35L ( Google Maps, 2017).

Ainda nesta teoria de aumento da área de escape, caso fosse possível este aumento de 80 metros, a pista 35L teria no total 200m (656 pés) de área de escape, que, de acordo com as informações da FAA, seriam suficientes para a implantação de uma área mínima de EMAS.

Embora com essa medida seja possível cumprir a distância mínima de 600 pés para a construção do EMAS, a área de escape em questão possui uma singularidade: é também área de movimentação de aeronaves (Figura 16).



Figura 16: Conexão da pista de taxi com a cabeceira da pista 17R

É ela que conecta a pista de taxi à pista de pouso, portanto, é utilizada constantemente, excluindo-se a possibilidade de implantação da nova tecnologia. Porém, caso o alinhamento para a decolagem seja feito através da pista de táxi anterior, as aeronaves perderiam 100m (Figura 17) de um total de 1940m disponíveis para decolagem e seria possível a implantação do EMAS. Outra hipótese, a fim de se aproveitar mais distância de pista para decolagem, seria avançar a conexão da pista de taxi com a cabeceira 17R (Figura 18).



Figura 17: Simulação da mudança da pista de taxi para o alinhamento das aeronaves (Google Maps , 2017).



Figura 18: Pista de taxi deslocada até a cabeceira 17R.

Caso a situação acima fosse empregada, a pista de taxi que antes levava as aeronaves até o ponto de espera da pista 17R não teria movimento de aeronaves visto que o EMAS estaria aplicado em toda a área de escape (Figura 19).



Figura 19: Simulação da pista de decolagem após emprego do EMAS e pistas de táxi inativas em vermelho.

Geralmente as aeronaves pousam contra o vento para que precisem de distâncias menores de frenagem (Saintive, 2011). Por este motivo, durante as condições de mau tempo em que normalmente a predominância dos ventos é de noroeste no hemisfério sul (contrariando a direção predominante dos ventos alísios que vem de sudeste), a pista utilizada nas operações é a 35L (a cabeceira oposta da

pista de decolagem 17R). Logo, o EMAS agregaria bastante segurança para as aeronaves que nela operassem.

No caso específico do voo Tam 3054, a aeronave desviou sua trajetória à esquerda conforme pode ser visto na Figura 20:



Figura 20: Trajetória da aeronave TAM 3054 (G1 - Portal de Notícias da Globo, 2007)

Uma vez que houve desvio na trajetória, mesmo com a implantação do EMAS talvez não seria possível a completa frenagem da aeronave. Porém, com a existências de áreas inativas (retângulos vermelhos da figura 15) nas proximidades laterais do EMAS e tendo em vista o grande fluxo de veículos nas duas avenidas que margeiam o aeroporto, uma alternativa seria a implantação de EMAS secundários cuja finalidade seria frenar as aeronaves que se desviassem para as laterais da pista (Figura 21).



Figura 21: Simulação da implantação dos EMAS secundários e pista de táxi prolongada até a cabeceira da pista.

### 4.3 Proposta Construtiva

A maioria dos EMAS até então empregados nos aeroportos americanos são basicamente compostos por blocos de concreto celular de 4 pés quadrados (equivalente a 0,37 metro quadrado) e unidos entre si por materiais vedantes e elásticos (Ho & Romero, 2009).

Em geral, o concreto celular empregado possui resistência menor que 0,690 MPa e massa específica menor que 480 Kg/m<sup>3</sup> (San Filippo & DeLong, 2004).

No Brasil ainda não existem fábricas especializadas em EMAS. Embora sua importação seja uma opção, deve-se levar em conta a logística de transporte de materiais de tal volume e frágeis, além dos custos e taxas aplicáveis. Portanto, sua produção dentro do próprio território brasileiro unida à utilização de materiais alternativos pode se tratar de uma opção tanto quanto interessante.

Inicialmente, com o intuito de manter as características dos EMAS já testados, pode-se utilizar blocos de cimento celular pré fabricados existentes no mercado brasileiro (Figura 22 e Figura 23). Mesmo que sejam mais utilizados na construção civil e em dimensões não quadradas, já se trata de uma tecnologia conhecida em nosso país e que pode ser projetada a fim de atender as resistências mecânicas exigidas.



Figura 22: Blocos pré fabricados de concreto celular disponíveis no mercado brasileiro (AVS, 2017).



Figura 23: Blocos pré fabricados de concreto celular em construção civil brasileira (AVS, 2017).

Uma vez que a principal característica do concreto celular característico no EMAS é sua capacidade de ser esmagado, outra opção seria a própria fabricação de blocos que tenham esta propriedade. Isto possibilitaria criar blocos que atendam várias particularidades desejadas, desde suas dimensões à sua porosidade e consequentemente capacidade de esmagamento.

Ainda sobre a própria criação dos blocos de concreto, pode-se ter mais um ponto positivo ao pensarmos na utilização de materiais alternativos tanto na composição de seus agregados quanto na composição de aditivos.

Sobre os agregados, é possível, por exemplo, substituir os agregados graúdos e miúdos do concreto por escória de aciaria pós-processada. Este material é popularmente conhecido como rejeito de mineração após ser submetido a um processo de segregação magnética para diminuir seu teor de metálicos (M. J. Da Silva, 2016). Uma vez que as escórias de aciaria são rejeitos de siderurgia, sua utilização neste projeto garantirá além da economia, uma alternativa ecologicamente viável.

Outra questão importante relativa à construção deste concreto é a necessidade de se obter uma matriz cimentícia porosa e com capacidade de esmagamento. Esta característica geralmente é conseguida mediante o emprego de aditivos incorporadores de ar. Estes, por sua vez, curiosamente também podem ser substituídos por uma proposta alternativa e mais barata.

O Linear Alquil Benzeno Sulfonato de Sódio é uma substância incorporadora de ar para as matrizes cimentícias e além de ser encontrada nos aditivos específicos para este fim, pode ser encontrada em detergentes domésticos. Como na maioria dos casos os detergentes domésticos são produtos baratos, sua utilização como aditivo incorporador de ar para matrizes cimentícias foi analisada. Com sua utilização, foi observada maior incorporação de ar e um sistema de vazios mais estável do que o aditivo incorporador de ar comercial para dosagens próximas (Mendes, et al., 2017). Além disso foi obtido maior teor de ar incorporado; maior aumento da trabalhabilidade da mistura; menor massa específica da matriz resultante; e pela razão de poros, indicando maior volume de vazios no estado endurecido para os traços com a substância proposta (Mendes, et al., 2017).

Como a função principal do EMAS é sua capacidade de ser esmagado e com isso oferecer resistência ao rolamento para as rodas da aeronave, deve-se ter uma estrutura capaz de entrar em falência conjunta. Para que haja este tipo de característica, a utilização de materiais friáveis é a mais indicada. Portanto, além das alternativas citadas anteriormente, pode-se empregar argila expandida e até mesmo isopor na constituição dos agregados do concreto, ou seja, as possibilidades existentes são várias, por isso recomenda-se um estudo para análise de qual seria o mais recomendado para cada caso.

Conclui-se, que, a fim de reduzir os impasses econômicos e inclusive ambientais, existem possibilidades com potencial de permitir sua implantação no cenário brasileiro, desde que sejam comprovadas as características técnicas dos materiais disponíveis para tal.

## 5 CONCLUSÃO

Aeroportos cujas construções se iniciaram nos primórdios da aviação civil brasileira hoje em dia se localizam em áreas densamente povoadas. O aeroporto de Congonhas é um grande exemplo desta transformação. Suas pistas atendiam à demanda operacional da época, tanto em termos de fluxo de tráfego aéreo quanto em termos de equipamentos operados. Hoje em dia, entretanto, a realidade mudou. Aeronaves mais velozes e com maior capacidade de passageiros estão cada vez mais presentes nos vôos regulares. Isto faz com que a exatidão e seriedade demandada ao setor aéreo seja sempre crescente a fim de evitar desastres.

Mediante a análise dos fatores contribuintes ao acidente do vôo 3054 da TAM, conclui-se que não há mais espaço para negligências dentro da fiscalização aeroportuária. Grandes aeroportos cujas áreas estão saturadas, como o de Congonhas, e cuja localização é imprescindível à atividade aérea devem ser reestruturados de modo com que atendam às medidas de segurança e também se adaptem à realidade urbana atual.

No que diz respeito à segurança, o emprego do EMAS tem se mostrado bastante eficiente, principalmente em pistas cujas áreas de escape tangenciam vias de grande fluxo de veículos. Embora não se possa afirmar com certeza que o emprego do EMAS pudesse evitar o acidente do avião da TAM, tendo em vista as características de velocidade do pouso, possivelmente teria amenizado os danos e salvado vidas.

Extrapolando a aplicação desta tecnologia aos demais aeroportos do país, seria uma alternativa tecnicamente viável visto que o concreto celular já é um material inserido no mercado brasileiro e novas propostas construtivas são possíveis.

Apesar de pouco difundida no Brasil, a nova tecnologia do EMAS se demonstra bastante eficiente e para que sua utilização seja economicamente viável no Brasil, materiais alternativos e mais baratos poderiam ser estudados a fim de baratear os custos de implantação, adaptando-se à realidade de nossos aeroportos e salvando vidas.

## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No intuito de aprofundar o estudo desta tecnologia, alguns pontos observados neste estudo são pertinentes a avaliações.

Os testes laboratoriais realizados com o concreto celular não seguem o mesmo campo dos métodos convencionais, como por exemplo Slump Test, Teor de Ar ou Teste de Resistência através de corpos de prova cilíndricos (San Filippo & DeLong, 2004).

Uma opção para a obtenção de resultados precisos para o concreto celular seria por meio do ensaio de Módulo de Ruptura. Este ensaio irá analisar o comportamento do material mediante a esforços dinâmicos e não estáticos, além de simular situações mais complexas, logo, aproximando-se ao máximo do cenário encontrado em campo.

Tendo em vista a finalidade da estrutura do EMAS, sugere-se a utilização de materiais friáveis na composição do concreto, para que durante sua solicitação ocorra falência conjunta de toda a estrutura, possibilitando a frenagem da aeronave e evitando danos ao trem de pouso que poderia ser causado por agregados rígidos. Em termos de materiais alternativos, cabe um estudo profundo sobre qual seria a melhor alternativa.

## 7 REFERÊNCIAS

- Federal Aviation Administration. (2012). *Engineered Materials Arresting Systems for Aircraft Overruns - AC No: 150/5220-22B*. Federal Aviation Administration Advisory Circular.
- Agência Nacional de Aviação Civil. (2012). *Certificado Operacional de Aeroportos - RBAC 139*. Regulamento Brasileira da Aviação Civil.
- Agência Nacional de Aviação Civil. (2016). *Instrução Suplementar IS Nº 153.103-001*. Agência Nacional de Aviação Civil.
- AVS. (Outubro de 2017). *AVS Tecnologia em Concreto Leve*. Acesso em 31 de Outubro de 2017, disponível em <http://www.avskoncretoleve.com.br/>
- Beechcraft Textron Aviation. (Outubro de 2017). *Beechcraft Textron Aviation*. Acesso em Outubro de 2017, disponível em <http://beechcraft.txtav.com/en/king-air-c90gtx>
- Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. (2009). *Relatório Final - A - Número 67/CENIPA/2009*. CENIPA.
- Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos. (2013). *Saída de pista na aviação civil brasileira*. CENIPA.
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo. (2017). *Serviço de Informação Aeronáutica - Rotaer - Aeroporto de Congonhas - SBSP*. [http://www.aisweb.aer.mil.br/\\_inc/iframe.cfm?pagina=rotaer&codigo=SBSP](http://www.aisweb.aer.mil.br/_inc/iframe.cfm?pagina=rotaer&codigo=SBSP).

- Departamento de Controle do Espaço Aéreo. (2017). *Serviço de Informação Aeronáutica - Rotaer - Aeroporto Tancredo Neves - SBCF*. [http://www.aisweb.aer.mil.br/\\_inc/iframe.cfm?pagina=rotaer&codigo=SBCF](http://www.aisweb.aer.mil.br/_inc/iframe.cfm?pagina=rotaer&codigo=SBCF).
- Evans, D. (Outubro de 2010). *Nolan Law Group*. Acesso em 31 de Outubro de 2017, disponível em <http://nolan-law.com/deadline-looms-for-arrestor-beds/>
- Federal Aviation Administration. (2005). *Advisory Circular - Engineered Materials Arresting Systems (EMAS) for Aircraft Overruns - AC No: 150/5220-22A*. Federal Aviation Administration.
- Federal Aviation Administration. (2017). *Fact Sheet - Engineered Material Arresting System (EMAS)*. Federal Aviation Administration Website.
- Flight Safety Foudation. (2009). *Approach and Landing Accident Reduction - ALAR Tool Kit*.
- G1 - Jornal da Globo. (2007). *Conheça mais sobre a história da Varig*. São Paulo: G1 - Portal de notícias da globo - [http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL15310-9356,00-CONHECA+MAIS+SOBRE+A+HISTORIA+DA+VARIG.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL15310-9356,00-CONHECA+MAIS+SOBRE+A+HISTORIA+DA+VARIG.html).
- G1 - Jornal da Globo. (2008). *Vasp está sem voar há mais de três anos: saiba mais sobre a empresa*. São Paulo: Jornal da Globo - [http://g1.globo.com/Noticias/Economia\\_Negocios/0,,MUL752619-9356,00-VASP+ESTA+SEM+VOAR+HA+MAIS+DE+TRES+ANOS+SAIBA+MAIS+SOBRE+A+EMPRESA.html](http://g1.globo.com/Noticias/Economia_Negocios/0,,MUL752619-9356,00-VASP+ESTA+SEM+VOAR+HA+MAIS+DE+TRES+ANOS+SAIBA+MAIS+SOBRE+A+EMPRESA.html).
- G1 - Portal de Notícias da Globo. (2007). *Avião da TAM com 176 a bordo bate e pega fogo em Congonhas*. São Paulo: <http://g1.globo.com/Noticias/SaoPaulo/0,,MUL72028-5605-9920,00.html>.
- Gol Linhas Aéreas Inteligentes. (2017). *Nossa História*. <https://www.voegol.com.br/pt/a-gol/nossa-historia>.
- Ho, C.-H., & Romero, P. (2009). *INVESTIGATION OF EXISTING ENGINEERED MATERIAL ARRESTING SYSTEM AT THREE U.S. AIRPORTS*. Salt Lake City: The 50th Transportation Research Forum .

- International Air Transport Association. (2017). *Safety Report 2016, 53rd Edition*. International Air Transport Association.
- International Civil Aviation Organization. (2009). Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation. *Chicago Convention on International Civil Aviation - 1944* (p. 328). Chicago: International Civil Aviation Organization.
- Jornal da Globo. (2006). *GOVERNO ANUNCIA MEDIDAS CONTRA APAGÃO AÉREO*. <http://g1.globo.com/Noticias/Brasil/0,,AA1379824-5598,00-GOVERNO+ANUNCIA+MEDIDAS+CONTRA+APAGAO+AEREO.html>.
- M. J. Da Silva, B. P. (2016). Feasibility Study of Steel Slag Aggregates in Precast Concrete Pavers . *ACI MATERIALS JOURNAL - TECHNICAL PAPER*, 446 - 439.
- Mendes, J. C., Moro, T. K., Figueiredo, A. S., Silva, K. D., Silva, G. C., Silva, G. J., et al. (2017). Mechanical, rheological and morphological analysis of cement-based composites with a new LAS-based air entraining agent. *Construction and Building Materials Journal*, 648-661.
- Romero, Chun-Hsing Ho e Pedro. (s.d.). *INVESTIGATION OF EXISTING ENGINEERED MATERIAL ARRESTING SYSTEM AT THREE U.S. AIRPORTS*. The 50th Transportation Research Forum.
- Saintive, N. S. (2011). *Teoria de Vôo - Introdução à Aerodinâmica - 6a Edição*. São Paulo: Editora ASA.
- San Filippo, W. K., & DeLong, H. (2004). *Engineered Materials Arresting System (EMAS): An Alternative Solution to Runway Overruns*. ASCE .
- Silva, C. C. (2008). *História da Aviação Comercial Brasileira no século XX atra*. Porto Alegre: PUC-RS.