

## DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR DE SEGURANÇA OPERACIONAL PARA PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM BRASILEIRAS

**Túlio Rodrigues Ribeiro**  
**Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

Universidade Federal do Ceará  
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes

### RESUMO

As operações de pouso e decolagem representam as fases mais críticas de um voo, pois são nestas etapas em que ocorrem grande parte dos acidentes e incidentes aéreos. Dentre os fatores contribuintes para tais eventos, as condições de aderência pneu-pavimento, representadas pelo coeficiente de atrito e macrot textura, possuem uma influência considerável, principalmente na eficiência da frenagem das aeronaves e no escoamento das águas pluviais. Diante disso, os gestores de aeródromos necessitam analisar periodicamente parâmetros superficiais para atestar a operabilidade das pistas de pouso e decolagem (PPD), não havendo um indicador que contemple todos esses parâmetros de maneira global. No intuito de facilitar a avaliação da segurança operacional das PPD, propõe-se desenvolver um indicador de desempenho com base em parâmetros de superfície de pista utilizando a técnica de regressão linear múltipla. Os resultados preliminares demonstraram que este tipo de ferramenta pode não ser compatível para obter um resultado consistente.

### 1. INTRODUÇÃO

Os acidentes aéreos, quando comparados com outros modos de transporte, possuem uma menor ocorrência, porém, quando ocorrem, eles são, na sua maioria, de grande severidade, ocasionando inúmeras vítimas fatais. Dessa forma, entende-se que a segurança das operações de pousos e decolagens é de suma importância na gestão dos pavimentos aeroportuários.

Na gestão de um aeródromo é fundamental que exista em atividade um Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO). O funcionamento do SGSO se caracteriza, conforme a ICAO (2018), em definir, monitorar e controlar os indicadores de desempenho de segurança das operações, que podem ser retratados por meio dos parâmetros de superfície das pistas de pouso e decolagem (PPD), os quais necessitam, segundo ANAC (2019), de monitoramento e controle constante por meio de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários (SGPA).

Nesse contexto, percebe-se que as avaliações estruturais, funcionais e de segurança são relevantes para a determinação dos indicadores de desempenho de segurança operacional, e, consequentemente, da efetividade das manutenções e reabilitações dos pavimentos aeroportuários. Desse modo, o operador de aeródromo dispõe de um diagnóstico acerca das PPD, além de poder monitorar o desempenho do pavimento frente à segurança operacional.

Portanto, considerando o exposto, esta pesquisa objetiva desenvolver um indicador de desempenho de segurança operacional para PPD brasileiras. Para a elaboração dos resultados preliminares apresentados, foram utilizados os dados do Aeroporto Internacional de Brasília e a técnica de regressão linear múltipla por meio de planilha eletrônica.

### 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em outras indústrias, existem diversos estudos realizados acerca do SGSO, os quais objetivaram identificar os componentes críticos do sistema, melhorar seu desempenho e especificar os fatores críticos de sucesso, bem como as barreiras à sua implementação (FERNANDEZ-MUNIZ *et al.*, 2007; AKSORN e HADIKUSUMO, 2008; ISMAIL *et al.*, 2012; BHATTACHARYA e TANG, 2013). Entretanto, especificamente no campo da

indústria da aviação, o número de estudos relacionados ao SGSO é limitado.

Os estudos existentes sobre o SGSO abordam principalmente questões subjetivas, as quais em grande parte estão relacionadas à cultura de segurança operacional existente entre os diferentes tipos de sistemas de gerenciamento e entre os funcionários das empresas que se situam na indústria da aviação civil (MCDONALD *et al.*, 2000; GILL e SHERGILL, 2004; LIOU *et al.*, 2008; HSU *et al.*, 2010; REMAWI *et al.*, 2011; CHEN e CHEN, 2012). Deste modo, carecem estudos sobre parâmetros de condição superficial em pavimentos aeroportuários com foco em segurança operacional. Entretanto, existem trabalhos na literatura relacionados à predição desses parâmetros, mas com foco em SGPA (SHAH *et al.*, 2004; SANTOS *et al.*, 2014; HOSSAIN *et al.*, 2018).

Entre os modelos de previsão existentes, o de Markov é empregado com mais frequência, pois ele possibilita a introdução de dados referentes à reabilitação. Entretanto, durante o desenvolvimento de modelos, é comum a insuficiência de dados históricos para elaborar um algoritmo numérico eficaz. Logo, pode-se utilizar modelos mais complexos, tais como as Redes Neurais Artificiais (RNA) (SANTOS *et al.*, 2014).

Shah *et al.* (2004) desenvolveram um modelo para avaliação da deterioração do pavimento utilizando Markov, o qual foi denominado de Índice de Classificação de Condição (ICC) e idealizado especificamente para atender às necessidades da primeira divisão aérea canadense de maneira eficaz. Este índice incorpora os seguintes parâmetros: defeitos de superfície, irregularidade longitudinal, atrito e dano por objeto estranho. Porém, o estudo não apresentou conclusões significativas sobre a eficácia ou a utilização do ICC, apenas afirmou que, como se trata de um novo índice para avaliação de pavimentos, é necessário realizar extensas pesquisas de campo antes de estabelecer os estágios críticos, particularmente, o estado do índice quando uma aplicação de manutenção e reabilitação se torna necessária.

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

Foram realizadas coletas de dados por meio da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), dados estes que são referentes às medições realizadas nas PPD, a saber: coeficiente de atrito e macrotextura, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1:** Variáveis utilizadas no modelo desenvolvido

Variável	Descrições (ANAC, 2019)
Macrotextura	Profundidade média da macrotextura obtida pelo método da mancha de areia
Coeficiente de atrito	Coeficiente de atrito obtido por equipamento de medição contínua

Em seguida, foi realizado um processo de tratamento dos dados com o intuito de evitar qualquer inconsistência, ausência ou incoerência neles. Nesse contexto, foram utilizadas as médias dos valores obtidos nas medições. Ressalta-se que para o coeficiente de atrito foi considerado apenas as medições realizadas a 3 m do eixo da PPD, pois nesta mesma distância também é avaliado a macrotextura.

O modelo estatístico utilizado foi a regressão linear múltipla, a qual objetiva relacionar duas variáveis explicativas – macrotextura e coeficiente de atrito, com o Indicador de Desempenho da Segurança Operacional (IDSO). Destaca-se que se trata de um modelo supervisionado, portanto, é fornecida a resposta que o algoritmo deve encontrar, ou seja, nesse caso, o IDSO. O critério utilizado para verificação da acurácia foi o Coeficiente de Determinação ( $R^2$ ).

Para a elaboração dos resultados preliminares, foram utilizados os dados do Aeroporto Internacional de Brasília entre os anos de 2015 e 2018, totalizando 23 medições de coeficiente de atrito e 13 medições de macrotextura. Ressalta-se que os dados de atrito foram obtidos por meio do equipamento Mu-meter.

As medições de macrotextura foram repetidas para fins de teste do modelo, isto ocorreu devido ao menor número destas em comparação às medições de atrito. Este processo foi realizado considerando a distância entre as datas e a PPD.

Inicialmente, foi estipulado que o valor do IDSO teria um valor entre 0 e 100, possuindo faixas de classificação: 100 a 70 – Conforme; 69 a 41 – Manutenção; 40 a 0 – Não conforme. Dessa forma, considerando os limites estabelecidos pela ANAC (2019), foi determinado os valores máximos e mínimos de coeficiente de atrito e macrotextura para cada faixa de classificação, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2:** Referência entre o ISO e os limites dos parâmetros

IDSO	Macrotextura	Coeficiente de atrito
100	1,20	0,90
70	0,60	0,52
41	0,55	0,43
40	0,54	0,42

Dessa forma, a partir desses valores foi realizada uma regressão linear múltipla no intuito de obter uma equação que pudesse avaliar a segurança operacional das PPD de acordo com os parâmetros utilizados e seus respectivos limites estabelecidos pela ANAC.

#### 4. RESULTADOS PRELIMINARES

A estatística da regressão resultou em um  $R^2$  de 98,55% e um erro padrão de 3,56. Os valores dos coeficientes encontrados foram de -5,99 para a interseção, de 311,04 para coeficiente de atrito e de -144,92 para macrotextura.

Após a obtenção dos valores dos coeficientes, o modelo foi testado com os dados obtidos do aeroporto em estudo, de acordo com a Tabela 3. O modelo não apresentou resultados consistentes no teste com dados reais de PPD. O IDSO apresentou resultados acima de 100, o qual seria o valor máximo para o indicador, além de avaliar medições dentro dos limites aceitáveis como “Não conforme”. Dessa forma, o modelo não representou a real condição de segurança operacional da PPD.

**Tabela 3:** Resultados do IDSO

Coeficiente de atrito médio	Macrotextura média	IDSO
0,65	1,02	48,33
0,59	1,04	25,83
0,76	0,88	101,18
0,59	1,02	29,73

#### 5. CONCLUSÕES PRELIMINARES

De maneira preliminar, é possível concluir que a técnica de regressão linear múltipla indica não ser a mais adequada para desenvolver um indicador de desempenho para a segurança operacional de pistas de pouso e decolagem. Nesse tipo de modelagem, existem dificuldades

em classificar os valores reais das medições em um valor numérico ou em uma faixa de valores. Nesse caso, é preciso estipular os valores numéricos com base nos limites estabelecidos pela ANAC, porém, este tipo de alternativa não se mostrou efetiva. Adicionalmente, existe uma dificuldade em alinhar cronologicamente os dados obtidos de diferentes parâmetros.

Destaca-se que o desenvolvimento do IDSO por meio da modelagem mais adequada ou apropriada é válido como uma ferramenta de apoio à decisão, seja para operadores de aeródromo ou agências reguladoras, além de ser um incremento na segurança operacional das aeronaves no que diz respeito a condição das pistas de pouso e decolagens. Uma modelagem por meio das cadeias de Markov ou das RNA podem ser mais adequadas para a elaboração do indicador.

#### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aksorn, T., Hadikusumo, B. H. W. (2008) *Critical success factors influencing safety program performance in Thai construction projects*. Safety Science, 46 (4), 709–727.
- ANAC (2019) *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº 153 – Emenda nº 04, Resolução nº 517, de 14 de maio de 2019*. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria Nacional de Aviação Civil. Brasília, DF.
- Bhattacharya, S., Tang, L. (2013) *Middle managers' role in safeguarding OHS: the case of the shipping industry*. Safety Science, 51 (1), 63–68.
- Chen, C. F., Chen, S. C. (2012) *Scale development of safety management system evaluation for the airline industry*. Accident Analysis and Prevention, 47, 177–181.
- Fernandez-Muniz, B., Montes-Peon, J. M., Vazquez-Ordas, C. J. (2007) *Safety management system: development and validation of a multidimensional scale*. Journal of Loss Prevention, 20, 52–68.
- Gill, G. K., Shergill, G. S. (2004) *Perceptions of safety management and safety culture in the aviation industry in New Zealand*. Journal Air Transport Management, 10 (4), 233–239.
- Hossain, M. I., Gopiseti, L. S. P., e Miah, M. S. (2018) *International roughness index prediction of flexible pavements using neural networks*. Journal of Transportation Engineering, Part B: Pavements, 145(1).
- Hsu, Y. L., Li, W. C., Chen, K. W. (2010) *Structuring critical success factors of airline safety management system using a hybrid model*. Transportation Research, Part E: Logistics and Transportation Review, 46, 222–235.
- ICAO (2018) *Safety Management Manual (SMM), Doc 9859, AN/474, Fourth Edition*. International Civil Aviation Organization. Montreal, Canadá.
- Ismail, Z., Doostdar, S., Harun, Z. (2012) *Factors influencing the implementation of a safety management system for construction sites*. Safety Science, 50 (3), 418–423.
- Liou, J. J. H., Yen, L., Tzeng, G. H. (2008) *Building an effective safety management system for airlines*. Journal Air Transport Management, 14 (1), 20–26.
- McDonald, N., Corrigan, S., Daly, C., Cromie, S. (2000) *Safety management systems and safety culture in aircraft maintenance organizations*. Safety Science, 34 (1–3), 151–176.
- Remawi, H., Bates, P., Dix, I. (2011) *The relationship between the implementation of a safety management system and the attitudes of employees towards unsafe acts in aviation*. Safety Science, 49 (5), 625–632.
- Santos, A., Freitas, E., Faria, S., Oliveira, J. R. M., e Rocha, A. M. A. C. (2014) *Degradation prediction model for friction in highways*. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 8581 LNCS (PART 3), 606–614.
- Shah, A., Tighe, S., Stewart, A. (2004) *Development of a unique deterioration index, prioritization methodology, and foreign object damage evaluation models for Canadian airfield pavement management*. Canadian Journal of Civil Engineering, 31 (4), 608–618.

Túlio Rodrigues Ribeiro (tulio.rodrigues.r@hotmail.com)

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará