

ANÁLISE DO LIMITE DO IRI EM PISTAS DE POUSO E DECOLAGEM A PARTIR DA RESPOSTA DINÂMICA DE AERONAVES

Maria Passos Pinho

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

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

RESUMO

Este relatório refere-se à dissertação em andamento, cujo objetivo principal é analisar a adequabilidade do limite estabelecido em regulamento brasileiro para o *International Roughness Index* (IRI) em pistas de pouso e decolagem, uma vez que este índice foi concebido para avaliar a qualidade do rolamento em pavimentos rodoviários com base na operação de veículos. Para tanto, o IRI será comparado com as acelerações verticais que as irregularidades longitudinais provocam nas aeronaves. Algumas pistas aeroportuárias estão sendo estudadas a partir de simulações feitas por meio do *software* ProFAA, considerando-se diferentes níveis de velocidades e modelos de aeronaves. Os resultados preliminares indicam que é possível a aceleração vertical das aeronaves ser considerada aceitável quando o IRI supera o limite máximo estabelecido.

1. PROPOSTA DA PESQUISA

No Sistema de Gerência de Pavimentos, é comum a aplicação de conceitos e práticas rodoviárias no meio aeroportuário sem maiores alterações, apesar das inúmeras diferenças existentes entre ambos os meios de transporte. Isso ocorre na avaliação da irregularidade longitudinal de pistas de pouso e decolagem brasileiras.

A Agência Nacional de Aviação Civil determina que a irregularidade longitudinal de pistas de pouso e decolagem deve ser monitorada a partir de valores expressos na escala do *International Roughness Index* – IRI (ANAC, 2016). No entanto, tal índice baseia-se em um modelo matemático chamado *quarter-car* (quarto de carro), que avalia a qualidade do rolamento em pavimentos rodoviários. Contudo, a irregularidade de pavimentos aeroportuários não é definida pela qualidade do rolamento ou pelo desconforto dos passageiros, mas, sim, em termos de fadiga dos componentes das aeronaves e de outros fatores que podem prejudicar a segurança das operações aéreas (FAA, 2009). O IRI, entretanto, não leva em conta esses fatores.

Apesar de o IRI não ser adequado para a avaliação da irregularidade de pavimentos aeroportuários, é exigido no Brasil pela ANAC, que justifica o seu uso devido à vasta experiência de empresas que atuam nessa área no Brasil. ANAC (2016), ainda, estabelece o valor de 2,5m/km, reportados a cada 200m, como o limite para o IRI de pistas de pouso e decolagem. Assim, diante da inadequação desse índice, é possível que este limite não seja representativo para aeroportos e, conseqüentemente, operadores de aeródromos sejam penalizados injustamente quando o limite estabelecido é ultrapassado, sendo obrigados a proceder com a realização de manutenções quando estas ainda não são necessárias, havendo desperdício de recursos materiais e, sobretudo, financeiros.

Para a avaliação desse limite, pode-se confrontá-lo com a resposta dinâmica de aeronaves quando estas encontram irregularidades na pista, pois, dessa forma, é possível levar em consideração as condições do pavimento, as características da aeronave, a velocidade de operação, etc. Assim, apesar da inconveniência do IRI para aeroportos, um limite condizente com os efeitos negativos provocados nas aeronaves e no próprio pavimento possibilitará uma manutenção da pista capaz de solucionar suas deficiências de uma forma mais efetiva e economicamente eficaz, além de garantir a segurança das operações aeroportuárias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Na visão dos usuários, o parâmetro mais relevante para o desempenho funcional de um pavimento é a irregularidade longitudinal. Um dos índices utilizados para medir esse parâmetro é o *International Roughness Index* (IRI), que corresponde a um índice estatístico, expresso em m/km (ou mm/m), que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto. O IRI baseia-se em um modelo matemático que avalia o efeito da irregularidade em um sistema massa-mola-amortecedor de um veículo, sendo desenvolvido, portanto, para avaliar a qualidade do rolamento em pavimentos rodoviários.

2.1. Diferenças entre pistas rodoviárias e aeroportuárias

Além das diferenças evidentes entre os meios de transporte rodoviário e aeroportuário, como, peso; dimensões; velocidade; quantidade, disposição e pressão dos pneus, inúmeras outras diferenças físicas e operacionais podem ser elencadas.

A faixa dos comprimentos de onda das irregularidades que afeta a resposta das aeronaves é maior do que aquela que afeta veículos rodoviários, incluindo longos comprimentos de onda devido à alta velocidade de deslocamento e à distância entre os trens de pouso (Loprencipe e Zoccali, 2017). De acordo com esses autores, os longos comprimentos de onda são especificamente prejudiciais às operações de aeronaves.

Vale ressaltar que o modelo matemático utilizado para o cálculo do IRI é capaz de detectar e avaliar apenas uma gama limitada de comprimentos de onda, com curtas ondulações. Ainda segundo Loprencipe e Zoccali (2017), devido às características desse modelo matemático, o IRI não é adequado para avaliar pistas aeroportuárias. A resposta do trem de pouso principal guia a resposta do trem de pouso de nariz. Assim, um único modelo de suspensão, como o *quarter-car* do IRI, não identifica o efeito de longos comprimento de onda, não podendo descrever adequadamente a qualidade do rolamento de uma aeronave.

Além disso, os sistemas de suspensão dos veículos são projetados para reduzir o impacto das irregularidades da superfície, melhorando a qualidade do rolamento. Em contrapartida, o principal objetivo do sistema de suspensão de uma aeronave é absorver a energia gasta durante o pouso. Tendo em vista à magnitude da energia gerada no pouso, os sistemas de suspensão de uma aeronave têm menor capacidade de amortizar o impacto das irregularidades da superfície (FAA, 2009).

Embora seja importante, o desconforto dos passageiros de uma aeronave, muitas vezes, não é significativo. O seu grau é pequeno e o tempo de exposição se limita a alguns segundos, ocorrendo durante as operações de pouso e decolagem, quando os passageiros estão distraídos com a aceleração/desaceleração horizontal da aeronave, com o ruído do motor e o ruído aerodinâmico (FAA, 2009).

Ainda de acordo com FAA (2009), as irregularidades na superfície de um pavimento aeroportuário podem causar vibrações na cabine a ponto de proporcionar ao piloto dificuldades nas operações de pouso e decolagem; provocar aumento de tensões nos componentes críticos da aeronave, aumentando o risco de uma falha prematura; reduzir a capacidade de frenagem, uma vez que as aeronaves respondem à aceleração vertical gerada pelas irregularidades e podem causar desconforto aos passageiros. Esses fatores podem ocorrer individualmente ou

combinados. Assim, a irregularidade da superfície das pistas de pouso e decolagem não é definida pela qualidade do rolamento ou pelo desconforto dos passageiros, mas, sim, em termos de fadiga dos componentes da aeronave e de outros fatores que podem prejudicar a segurança operacional.

2.2. Aceleração vertical de aeronaves

Na avaliação das irregularidades dos pavimentos aeroportuários, tem-se percebido grandes esforços para a sua evolução e melhoria. No entanto, limitações técnicas e metodológicas têm levado ainda a avaliações imprecisas e, muitas vezes, incorretas. Uma forma de tentar superar alguns dos limites existentes, é a análise da resposta dinâmica das aeronaves a essas irregularidades por meio das acelerações verticais provocadas nas aeronaves.

Em 1967, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) estabeleceu um procedimento de avaliação da irregularidade do pavimento aeroportuário com base na aceleração vertical na cabine da aeronave, definindo a aceleração máxima aceitável como 0,4g (Chen e Chou, 2004). A análise da variação da aceleração vertical pode ser feita por meio de simulações do movimento da aeronave ao longo da pista, as quais podem ser desenvolvidas pelo ProFAA, um *software* gratuito desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* (FAA).

O ProFAA calcula os seguintes índices de irregularidade em pistas aeroportuárias: *Straight-edge*, *Boeing Bump Index*, *International Roughness Index*, *California Profilograph* e *RMS Bandpass*. Além disso, simula a resposta de algumas aeronaves comerciais às irregularidades, possibilitando a previsão da aceleração vertical no centro de gravidade da aeronave e na cabine do piloto, bem como a previsão dos coeficientes dinâmicos de carga produzidos nos trens de pouso de nariz, principal e traseiro.

No entanto, o ProFAA apresenta algumas limitações. É possível, apenas, o desenvolvimento de simulações de operações de taxiamento com velocidade constante, desprezando desacelerações e acelerações inerentes às operações de pouso e decolagem. Nesse *software*, é possível a simulação de apenas quatro modelos de aeronaves: Boeing 727, Boeing 747, DC-9 e DC-10, os quais estão com baixa frequência de operação nos aeroportos brasileiros. Outro ponto a ser destacado no ProFAA refere-se à consideração da aeronave como um corpo rígido, desprezando, no modelo matemático, os efeitos aerodinâmicos.

3. MÉTODO

Visando avaliar a adequabilidade do limite estabelecido para o IRI de pistas de pouso e decolagem perante os distúrbios que as irregularidades causam em uma aeronave, serão desenvolvidos estudos de caso em alguns aeroportos brasileiros. Para tanto, será utilizado o *software* ProFAA para a simulação dos modelos Boeing 727 e Boeing 747, sendo o primeiro adotado como aquele que mais se aproxima das aeronaves mais utilizadas no Brasil e o segundo como aquele que mais se assemelha à aeronave de projeto dos aeroportos. Como o ProFAA simula o passeio da aeronave apenas com velocidade constante, serão adotados três níveis de velocidade: 80, 120 e 160 nós, que correspondem, respectivamente a 148, 222 e 296 km/h.

Lançando no programa os perfis topográficos obtidos para os aeroportos dos estudos de caso, serão calculados o IRI e as acelerações verticais para os dois modelos de aeronave admitidos, considerando-se os três níveis de velocidade. De posse dos dados gerados pelas simulações, serão feitas comparações entre os valores de IRI e aceleração vertical, possibilitando a análise

do valor máximo admitido para o IRI por ANAC (2016) a partir da aceleração máxima aceitável de 0,4g.

4. RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS

O perfil de uma pista de pouso e decolagem com 2.545m foi analisado, tendo o IRI calculado pelo ProFAA para seções de 200 m, conforme estabelecido por ANAC (2016). Da mesma forma, os valores quadráticos médios (RMS – *Root Mean Square*) das acelerações verticais na cabine do piloto foram calculados para um Boeing 727 trafegando a 120 nós. Os resultados estão mostrados nas Figuras 1 e 2.



Figura 1: IRI reportado a cada 200m

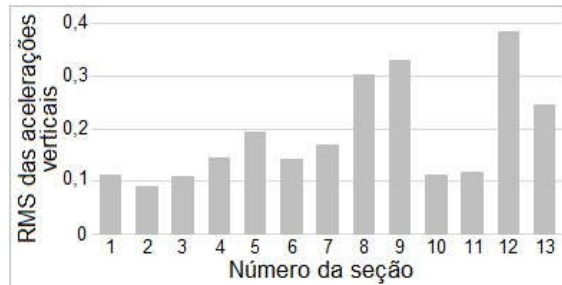


Figura 2: RMS das acelerações verticais na cabine do piloto em um Boeing 727 a 120nós

Para esta pista, percebe-se que o IRI supera o limite de 2,5m/km na seção 12, que corresponde ao trecho entre 2.200 e 2.400m, chegando a um valor de 3,21m/km. No entanto, nesse trecho, a RMS das acelerações verticais provocadas na cabine do piloto é de 0,39g, estando próxima, porém, abaixo do valor limite aceitável pela NASA. Por este caso, o limite de 2,5m/km para o IRI de pistas de pouso e decolagem aparenta inadequado. No entanto, para chegar a uma conclusão mais apropriada, outras simulações estão em desenvolvimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAC (2016) *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 153: Aeródromos – Operação, manutenção e resposta à emergência*. Agência Nacional de Aviação Civil, Brasília, DF.
- CHEN, Y. e C. CHOU (2004) *Assessment of aircraft's vertical responses to develop the roughness evaluation index for airport pavement*. FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference, Atlantic City, New Jersey, USA.
- FAA (2009) *Advisory Circular AC 150/5380-9: Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness*. Federal Aviation Administration, United States Department of Transportation, Washington, DC.
- LOPRENCIPE, G. e P. ZOCCALI (2017) *Comparison of methods for evaluating airport pavement roughness*. International Journal of Pavement Engineering.

Maria Passos Pinho (mariapassosp@yahoo.com.br)
Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes,
Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, Bloco 703 – Fortaleza, CE, Brasil