

ANÁLISE DE LIMITES DE IRI EM PISTAS AEROPORTUÁRIAS COM BASE EM SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

Elisa da Silva Sousa
Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO

A irregularidade longitudinal, a depender de sua severidade, é considerada um defeito presente na superfície dos pavimentos que pode proporcionar impacto no conforto e na segurança das operações aeroportuárias, fazendo-se necessárias avaliações periódicas que possam identificar as irregularidades que provocam danos ao sistema aeronave-pavimento. Contudo, o que se tem feito no Brasil é a adoção de conceitos e práticas rodoviárias sem maiores adaptações para a avaliação das infraestruturas aeroportuárias. Diante disso, este trabalho tem o objetivo de analisar diferentes limites de IRI (*International Roughness Index*) para a avaliação de pistas de pouso e decolagem e de taxiamento, tendo como base simulações computacionais com aeronaves. Os resultados preliminares indicam a possibilidade de utilização do IRI com diferentes limites para pistas de taxiamento e por terços das pistas de pouso e decolagem.

1. INTRODUÇÃO

A correta e oportuna realização de atividades de manutenção e reabilitação (M&R) em pistas aeroportuárias proporciona adequadas condições para o tráfego de aeronaves, garantindo conforto aos passageiros e, principalmente, segurança às operações de pouso e decolagem. Por outro lado, a presença de defeitos na superfície dos pavimentos gera irregularidades que se intensificam à medida que nenhuma correção é realizada, aumentando as possibilidades de ocorrências de acidentes e incidentes.

A irregularidade longitudinal em pistas aeroportuárias é definida em função da fadiga nos componentes das aeronaves, devido às tensões e ao desgaste da superfície, e a outros fatores, como vibrações na cabine dos pilotos e forças gravitacionais excessivas, que podem ser tão severas que o comandante passa a ter dificuldade em manipular os controles (FAA, 2009). Sendo assim, o impacto das irregularidades vai além do desconforto aos passageiros, pois esses defeitos no pavimento podem causar danos consideráveis às aeronaves.

Na avaliação da irregularidade longitudinal, o que se tem feito comumente é a utilização de índices calculados com base no levantamento dos desvios verticais ao longo da pista. Contudo, para uma análise específica do sistema aeronave-pavimento, deve-se levar em consideração as elevadas velocidades das aeronaves, além dos desvios verticais com longos comprimentos de onda, fatores não considerados pelos índices atuais (Emery *et al.*, 2015; APR, 2019), a exemplo do *International Roughness Index* (IRI) e do *Boeing Bump Index* (BBI). Assim, esses métodos de avaliação ou a forma como são utilizados podem não ser representativos em pavimentos aeroportuários.

Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo analisar a aplicabilidade de diferentes limites de IRI para a avaliação de pistas de pouso e decolagem e de taxiamento, a partir dos resultados de simulações computacionais com aeronaves.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Bernucci *et al.* (2008) definem a irregularidade longitudinal como o somatório dos desvios verticais do perfil longitudinal do pavimento em relação ao plano de referência de projeto, de

modo que tais desvios afetam a dinâmica do tráfego e do carregamento, a qualidade do rolamento, e a drenagem da pista. Nas operações aeroportuárias, a resposta dinâmica das aeronaves devido às irregularidades, depende das características físicas da própria aeronave, como a rigidez e o espaçamento entre os trens de pouso (Gerardi, 1977).

Para a avaliação da irregularidade longitudinal, ANAC (2019) adota o IRI como parâmetro, com limite de aceitabilidade igual a 2,5 m/km, reportados a cada 200 m. No Canadá e na África do Sul, segundo Transport Canada (2016) e Emery *et al.* (2015), os valores limites sugeridos para manutenção das pistas são 2,7 m/km e 2,0 m/km, respectivamente, sendo esses valores próximos aos adotados para as pistas brasileiras.

Durán e Fernandes Jr. (2020) avaliaram pistas de pouso e decolagem com base na resposta dinâmica das aeronaves e no IRI e verificaram que os limites de 2,0 m/km e 2,5 m/km são conservadores. De acordo com o estudo, embora com IRI excessivo, alguns perfis não são capazes de afetar negativamente a estrutura das aeronaves e/ou os instrumentos de navegação, e de comprometer a segurança operacional. Pinho (2019) analisou o limite do IRI adotado no Brasil, tendo como base os valores de aceleração vertical, com variação entre 2,0 m/km e 3,0 m/km, e concluiu que o valor de 2,5 m/km é o mais adequado, embora o IRI possa levar a decisões equivocadas, uma vez que não reflete a resposta dinâmica das aeronaves.

O BBI, embora seja um índice desenvolvido para aeroportos, também não permite uma avaliação efetiva das pistas aeroportuárias. Isso porque os critérios usados não avaliam o efeito de eventos cíclicos ou harmônicos, que podem ter um impacto substancial nas operações de aeronaves (APR, 2015). Por outro lado, as simulações computacionais com aeronaves permitem a determinação da aceleração vertical da aeronave e fornecem uma adequada medida de aceitabilidade, sendo compatíveis com as preocupações dos pilotos, além de realizar análise considerando desvios de comprimento longo (CHEN e CHOU, 2004; Emery *et al.*, 2015).

3. MÉTODO DE PESQUISA

Nesta pesquisa, foram utilizados seis perfis de irregularidade longitudinal de pistas de pouso e decolagem americanas, levantados por meio do equipamento *Auto Rod and Level*. Estes foram avaliados em seções de 100 m de extensão, utilizando como base os índices IRI, BBI, obtidos por meio do *software* ProFAA, e a aceleração vertical na cabine de comando, obtidos por meio do *software* APRas. Neste programa, foram simuladas operações de pouso, decolagem e taxiamento com as aeronaves, B737-800 e B777-300. Nas simulações de taxiamento, foram utilizadas as velocidades críticas para cada aeronave, sendo 167 km/h, para o B737-800, e 232 km/h, para o B777-300, de forma a verificar a resposta dinâmica máxima.

Após a obtenção dos parâmetros de cada seção, realizou-se uma análise estatística como forma de compreender os dados analisados. Para isso, foram utilizadas medidas de tendência central e de dispersão, como média, desvio padrão e coeficiente de variação. Foi verificada, também, a ocorrência de possíveis *outliers*. Além disso, com o desenvolvimento da pesquisa, será empregada uma análise espectral, por meio da aplicação da Transformada de *Wavelet*, de modo a identificar curtos e longos comprimentos de onda.

As avaliações tiveram como base o valor limite de 0,40.g para aceleração vertical, conforme recomendações apresentadas em Chen e Chou (2004). Para utilizar o IRI, foram adotados

diferentes limites, variando de 2,0 a 4,0 m/km. O limite inferior diz respeito ao valor sugerido por Sayers e Karamihas (1998) e o superior foi escolhido de acordo com as conclusões de Durán e Fernandes Jr (2020), que indicam que a resposta dinâmica das aeronaves passaram a ser elevadas para IRI em torno de 3,7 m/km. Realizou-se um comparativo entre os resultados das classificações, para cada terço de pista, por possuírem solicitações e interações distintas nas operações das aeronaves. Ademais, será realizada uma análise dos limites de IRI para pistas de taxiamento, utilizando, para isso, as simulações de taxiamento ao longo de toda a pista. O fluxograma da Figura 1 apresenta um resumo das etapas.



Figura 1: Fluxograma das etapas do método de pesquisa.

4. RESULTADO PRELIMINARES

Como resultados preliminares, têm-se uma análise comparativa entre as duas avaliações realizadas, com base nos parâmetros de aceleração vertical crítica na cabine do piloto e de IRI. O comparativo foi feito para cada terço de pista: no primeiro terço, considerou-se as simulações que levaram aos valores mais críticos de aceleração vertical, sendo essas as operações de decolagem com o B737; na avaliação do segundo e terceiro terço de pista, foram utilizadas as simulações de taxiamento com a aeronave B737, pois essa operação resultou em maiores valores de aceleração vertical para os trechos citados. O gráfico da Figura 2 apresenta a porcentagem média de concordância entre as avaliações para cada limite de IRI testado. Destaca-se que a porcentagem de concordância significa a quantidade de seções com a mesma classificação (aceitável ou não aceitável), por meio dos dois parâmetros, em relação ao conjunto total de seções de uma pista.

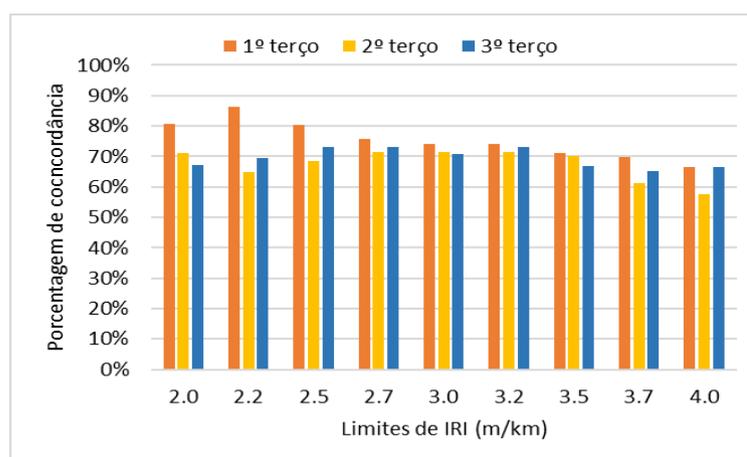


Figura 2: Concordância média entre as classificações para cada limite de IRI adotado.

No primeiro terço, nota-se que a maior concordância ocorreu para o limite de 2,2 m/km, com concordância média de 86%, o que indica que o limite de 2,5 m/km adotado por ANAC (2019) pode ser prejudicial para a segurança das operações e o adequado desempenho do sistema aeronave-pavimento. Para o segundo terço, as maiores médias (72%) foram para os

limites que variavam de 2,7 a 3,2 m/km, e, para o terceiro terço, os limites de 2,5, 2,7 e 3,2 m/km apresentaram porcentagens de 73%.

5. CONCLUSÕES PRELIMINARES

Conclui-se, preliminarmente, que a utilização de limites de aceitabilidade de IRI para cada terço de pista de pouso e decolagem pode ser uma alternativa mais apropriada, em relação a utilização do valor do limite único de 2,5 m/km para toda a pista, de modo que as avaliações reflitam a resposta dinâmica das aeronaves. Assim, os regulamentos brasileiros podem ser ajustados e os operadores de aeródromos poderão ser melhor orientados a cerca da aplicação de atividades de M&R, necessárias à correção das irregularidades existentes. Ressalta-se que para uma melhor análise da resposta dinâmica, pode-se utilizar as simulações computacionais, pois, apenas os índices não conseguem identificar todos os eventos que possam causar danos ao sistema aeronave-pavimento e colocar em risco as operações de pouso e decolagem.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores agradecem também a Michael Gerardi da APR Consultants, por fornecer dados de simulações computacionais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAC (2019) *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Nº 153 - Emenda 04. Aeródromos: Operação, Manutenção e Resposta à Emergência*. Agência Nacional de Aviação Civil. Secretaria de Aviação Civil. Brasília, DF.
- APR (2015) *The Boeing Bump Index – Additional Methodologies Recommended*. APR Consultants. Disponível em: <<http://www.aprconsultants.com/Boeing-Bump-Index.html>>. Acesso em: 18 jun. 2019
- APR (2019) Considerations for Airfield Pavement Profile Evaluations. APR Consultants. XV *Seminário ALACPA de Pavimentos Aeroportuario*, San José, Costa Rica.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. (2008) *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobras. Abeda.
- CHEN, Y e CHOU, C (2004) *Assessment of aircraft's vertical responses to develop the roughness evaluation index for airport pavement*. FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference, USA.
- DURÁN, J. B. C.; FERNANDES JR, J. L. (2020) Airport pavement roughness evaluation based on cockpit and center of gravity vertical accelerations. *Revista Transportes*, v.28, n.1, p. 147–159.
- EMERY, S.; HEFER, A.; HORAK, E. (2015) Roughness of Runways and Significance of Appropriate Specifications and Measurement. *Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*.
- 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.
- GERARDI, A (1977) *Digital simulation of flexible aircraft response to symmetrical and asymmetrical runway roughness*. Technical Report AFFDL-TR-77-37. Air Force Flight Dynamics Laboratory, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.
- PINHO, M. P. (2019) *Análise do limite do IRI de pistas de pouso e decolagem brasileiras a partir da aceleração vertical percebida pelas aeronaves*. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE.
- TRANSPORT CANADA (2016) *Measurement and evaluation of runway roughness*. Civil Aviation, Standards. Advisory Circular AC 302-023.
- VAN GELDER, P. A.; STET, M. J. (2009) Executive summary Evaluation Methods for longitudinal evenness of runway pavements An overview of recent Dutch experiences. *National Aerospace Laboratory NLR*, n. May, p. 13–14.
- SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. (1998) *The Little Book of Profiling: Basic Information about Measuring an Interpreting Road Profiles*. The Regent of the University of Michigan.

Elisa da Silva Sousa (elisa@det.ufc.br)

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

Departamento de Engenharia de Transportes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Av. Mister Hull, s/n - Pici – Fortaleza, CE, Brasil