ESTUDO DE CASO DE OBRAS

DEFEITOS RECORRENTES EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS DE PISTAS AEROPORTUÁRIAS: UMA ANÁLISE MULTIAEROPORTUÁRIA

Bruna Tamanini Barcelos[1]; Rafaela Casagrande[1]; Frederico Rodrigues[1]; Cinara Floripes[1]; Marcos Venicius[1] & Lucas Soares[1]

RESUMO

A segurança e a eficiência operacional dos aeroportos estão diretamente associadas à condição funcional dos pavimentos das pistas de pouso e decolagem. Este estudo realizou uma análise comparativa dos defeitos em pavimentos flexíveis de sete aeroportos brasileiros, utilizando a metodologia do *Pavement Condition Index* (PCI), conforme a norma ASTM D5340-24. Os levantamentos foram realizados por meio de inspeção automatizada com perfilômetro a laser e câmeras de alta resolução, permitindo o georreferenciamento preciso das falhas. As pistas foram segmentadas em dez zonas funcionais, de acordo com as solicitações mecânicas características das operações aéreas. Os resultados indicaram que todos os aeroportos apresentaram PCI médio classificado entre bom e regular, com predominância de remendos, desagregações e trincas longitudinais e transversais. As zonas de toque e frenagem concentraram os defeitos mais severos, associados à fadiga e ao impacto. Análises estatísticas revelaram padrões de similaridade entre alguns aeroportos, enquanto outros apresentaram comportamento dissociado, possivelmente influenciado por fatores como clima, tráfego e técnicas construtivas. Observou-se forte correlação entre defeitos estruturais e degradação do PCI, reforçando seu valor como ferramenta diagnóstica. Conclui-se que a segmentação funcional das pistas, aliada à inspeção automatizada e à análise crítica dos defeitos, é essencial para orientar estratégias de manutenção eficazes, assegurando a segurança e a longevidade da infraestrutura aeroportuária.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento; Aeroporto; Defeitos; Índice de Condição do Pavimento (PCI).

ABSTRACT

The safety and operational efficiency of airports are directly associated with the functional condition of runway pavements. This study performed a comparative analysis of defects in flexible pavements at seven Brazilian airports, using the Pavement Condition Index (PCI) methodology, according to ASTM D5340-24. The surveys were performed using automated inspection with a laser profilometer and high-resolution cameras, allowing precise georeferencing of the defects. The runways were segmented into ten functional zones, according to the mechanical stresses characteristic of air operations. The results indicated that all airports presented an average Pavement Condition Index (PCI) classified as good to regular, with a predominance of patches, disintegrations and longitudinal and transverse cracks. The touchdown and braking zones concentrated the most severe defects, associated with fatigue and impact. Statistical analyses revealed similar patterns among some airports, while others presented dissociated behavior, possibly influenced by factors such as climate, traffic and construction techniques. A strong correlation was observed between structural defects and Pavement Condition Index (PCI) degradation, reinforcing its value as a diagnostic tool. It is concluded that functional segmentation of runways, combined with automated inspection and critical analysis of defects, is essential to guide effective maintenance strategies, ensuring the safety and longevity of airport infrastructure.

KEY WORDS: Pavement; Airport; Defects; Pavement Condition Index (PCI).

[1] Imtraff Engenharia e Mobilidade, e-mail: bruna.barcelos@grupoimtraff.com.br; rafaela.casagrande@grupoimtraff.com.br; frederico@grupoimtraff.com.br; cinara.floripes@grupoimtraff.com.br; marcos.venicius@grupoimtraff.com.br; lucas.soares@grupoimtraff.com.br.

INTRODUÇÃO

Os aeroportos são infraestruturas extremamente importantes para o desenvolvimento socioeconômico regional e nacional, atuando como catalisadores do transporte de pessoas, cargas e serviços. Dentro desse complexo sistema, os pavimentos aeroportuários desempenham função essencial, visto que suportam diretamente as operações de pouso, decolagem, taxiamento e estacionamento de aeronaves. Esses pavimentos representam os ativos de maior valor patrimonial em um aeroporto, sendo essenciais para assegurar a funcionalidade, segurança e eficiência operacional do aeródromo (Moura, 2021; Almeida, 2022).

De acordo com a ANAC (2022), a manutenção adequada da integridade funcional desses pavimentos é uma exigência normativa e operacional, tanto pela legislação brasileira como a Agencia Nacional de Aviação Civil (ANAC) quanto por organismos internacionais, como a *Federal Aviation Administration* (FAA) e a *International Civil Aviation Organization* (ICAO). A degradação dessas superfícies compromete a segurança das operações, podendo contribuir em incidentes como excursões de pista (*Runway Excursions*, RE), perda de controle no solo (*Loss of Control Ground*, LOC-G) e colapsos estruturais localizados. Frente a esse cenário, a adoção de sistemas objetivos de inspeção periódica da condição funcional dos pavimentos torna-se imprescindível.

Entre os métodos mais consolidados, destaca-se o *Pavement Condition Index* (PCI), reconhecido internacionalmente como um dos instrumentos mais eficazes para quantificar a degradação superficial e subsidiar estratégias de manutenção e reabilitação com base técnica, operacional e econômica (FAA, 2014; Hermawan, 2024; ASTM, 2024).

Estudos como os de Domingos (2017) e Duran (2015) aplicaram o índice PCI em aeroportos, mas se restringiram à análise de um único sítio aeroportuário. Santos (2022), por sua vez, avaliou o PCI em 18 aeroportos, comparou apenas o PCI, sem aprofundar-se na comparação entre os tipos de defeitos observados, deixando de explorar a similaridade de padrões entre os diferentes contextos operacionais. Diante disso, apesar da consolidação normativa e técnica do método PCI, a literatura nacional ainda carece de estudos comparativos entre aeroportos, que possibilitem a identificação de padrões de defeitos recorrentes e a análise de similaridades nos mecanismos de degradação.

Tal ausência de abordagens comparativas e estatísticas robustas limita o avanço científico na área, além de comprometer a capacidade de gestores aeroportuários de antecipar cenários de falhas e definir estratégias preditivas mais eficazes. O presente estudo propõe-se a realizar uma análise comparativa dos defeitos em pavimentos flexíveis de pistas de pouso e decolagem de 7 aeroportos brasileiros, empregando a metodologia PCI como base técnica. Ao integrar esse método com ferramentas analíticas e estatísticas, objetiva-se contribuir para a literatura acadêmica e para a prática de gestão aeroportuária, indicando os locais mais sensíveis a determinados tipos de defeitos.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Relação do Pavimento com a Segurança Operacional Aeroportuária

Os pavimentos aeroportuários são sistemas multicamadas projetados para resistir às cargas de tráfego de aeronaves, intempéries ambientais e ações operacionais. A condição funcional desses pavimentos está diretamente relacionada à segurança operacional, uma vez que qualquer manifestação patológica pode comprometer a aderência, o rolamento e a estabilidade das aeronaves durante as manobras terrestres, pois, falhas como trincas, afundamentos em trilhas de roda, desagregações superficiais, ou agregados polidos podem gerar cenários de risco operacional (ICAO, 2017; FAA, 2014).

De acordo com ANAC (2022), uma RE ocorre quando uma aeronave sai da superfície da pista do aeródromo durante uma operação de pouso ou de decolagem. Esses eventos envolvem diversos fatores contribuintes, que vão desde uma aproximação desestabilizada até condições inadequadas de aderência do pavimento. Já a LOC-G é caracterizada pela impossibilidade de o piloto manter o controle da aeronave, seja pela ineficácia da atuação dos comandos. Esse evento pode ocorrer desde o início do deslocamento da aeronave por meios próprios até sua decolagem, bem como do toque no pouso até sua parada completa, também pode estar relacionada a condições inadequadas da pista de pouso e decolagem, como buracos, depressões, desagregações, aderência inadequada ou acúmulo de água no pavimento.

Além dos riscos a vida, a interdição de uma pista pode gerar impactos econômicos expressivos, como atrasos e cancelamentos de voos, aumento nos custos operacionais das companhias aéreas e prejuízos para a infraestrutura aeroportuária, afetando diretamente a logística e a economia da região (Costa, 2018). Um exemplo dessa problemática ocorreu no Aeroporto de Navegantes, que permaneceu fechado por aproximadamente quatro horas após pedaços de asfalto atingirem a fuselagem de uma aeronave durante a decolagem (Figura 1a) (CNN,2023). Outro evento ocorreu na Austrália, quando ao iniciar a decolagem do Aeroporto Internacional de Perth, um pedaço de pavimento soltou e levantou da pista (Figura 1b), o aeroporto ficou fechado durante todo o dia (Moreira, 2023). Já em Florianópolis ocorreu uma RE, onde a aeronave derrapou na pista durante o pouso, devido a condições climáticas a pista estava molhada no momento do pouso, a aeronave derrapou após a frenagem, parou somente quando tocou o canteiro do aeroporto (Figura 1c), as operações foram paralisadas para investigações da qualidade do pavimento (Lyra, 2023).

Figura 1. Exemplos de incidentes em pavimentos aeroportuários (CNN, 2023; Moreira, 2023; Lyra 2023)

A ANAC (2022) estabelece critérios de avaliação e limites de tolerância para o estado funcional dos pavimentos aeroportuários, pistas com valores de PCI inferiores aos limiares estabelecidos não podem operar sem restrições, dada a possibilidade de afetar o desempenho da aeronave durante o pouso ou a decolagem, principalmente em condições de pista molhada ou operações em limite de performance. Essa exigência reforça o entendimento de que os pavimentos constituem elementos estruturais críticos da infraestrutura aeroportuária, com influência direta na segurança, regularidade e eficiência das operações.

Avaliação Funcional do Pavimento pela Metodologia do PCI

O PCI é um sistema padronizado de avaliação funcional de pavimentos desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE), com o objetivo de fornecer uma métrica objetiva para quantificar o nível de deterioração da superfície dos pavimentos. Trata-se de uma metodologia amplamente adotada mundialmente, cuja padronização é atualmente descrita na norma ASTM D5340-24 (ASTM, 2024).

O PCI é expresso em uma escala de 0 a 100 pontos, na qual 100 representa um pavimento em estado perfeito (sem defeitos observáveis) e 0 indica completa falência funcional da superfície (Tabela 1). O índice é calculado com base na identificação visual, classificação e quantificação dos defeitos em unidades amostrais (UAs) previamente determinadas na rede pavimentada. Cada defeito identificado recebe uma penalização proporcional ao seu tipo, à sua severidade (baixa, média ou alta) e à área afetada, utilizando-se gráficos de dedução normatizados. Para pavimentos asfálticos, o PCI considera 17 tipos de defeitos, esses defeitos são agrupados por características mecânicas, estruturais e funcionais, permitindo inferir não apenas a causa do dano, mas também a urgência de intervenção e os métodos de correção mais apropriados.

Para a obtenção do PCI a primeira etapa é a divisão da rede de pavimento em seções homogêneas e posterior subdivisão em UAs (450 m² para pavimentos de concreto asfáltico. Posteriormente realiza-se a inspeção visual, levantando os tipos de defeitos existentes, extensão e gravidade registrando em uma ficha denominada inventário de defeitos.

Com os tipos, quantidades e gravidades de defeitos registrados, realiza-se o cálculo do índice de PCI da unidade amostral, calculando-se a densidade. A densidade é a porcentagem de incidência de um defeito, calculada por nível de gravidade, numa determinada unidade de amostra, conforme a Equação 1.

$$D\ (\%) = \frac{Quantidade\ da\ degradação\ (m\ ou\ m^2)}{Área\ total\ da\ UA\ (m^2)}\ .100 \qquad (1)$$

Posteriormente, realiza-se o cálculo do valor a deduzir (VD) que se refere a cada par de informação, defeito e gravidade. O valor a deduzir é obtido nos gráficos de dedução de cada defeito, conforme apêndice X3 da norma ASTM D 5340 (2024). Se nenhum ou apenas um dos valores de dedução é superior a cinco, o valor máximo de dedução corrigido a usar no cálculo do PCI sera igual à soma de todos os VD. Caso mais do que um valor a deduzir apresente valor superior a cinco, é necessário calcular o número máximo de deduções conforme Equação 2, a considerar no cálculo de forma a ajustar a influência que o conjunto das anomalias produz no estado da amostra, evitando assim a extrapolação dos resultados de PCI.

$$m\ =\ 1 + (\frac{9}{95}).(100 - HVD)\ \leq\ 10 \qquad (2)$$

Onde:
m: Número máximo de degradações admissíveis;
HVD: O maior valor de dedução (VD) da unidade de amostra.

Neste caso, o Valor Máximo de Dedução Corrigido (Max VDC) é determinado através de um processo iterativo que inclui os seguintes passos:

- Colocar por ordem decrescente os valores;
- Determinar o número de valores deduzidos superiores a 5;
- Calcular o somatório de valores deduzidos;
- Determinar o valor de dedução corrigido (VDC) por consulta da curva de VDs corrigidos;
- Reduzir para 5 o menor VD superior a 5 e repetir os passos anteriores até obter q = 1;
- O VDC final é o maior valor de VDC determinado por este processo (Max VDC).

Por fim, o valor do PCI da unidade amostral será a diferença entre o conceito 100 e o valor do Max VDC, segundo a Equação 3.

$$PCI\ (UA)\ =\ 100\ -\ Max\ VDC \tag{3}$$

Conforme a ANAC (2017), as estratégias de manutenção e reabilitação do pavimento devem ser definidas levando em conta fatores como tipos de defeito, nível de gravidade e volume de tráfego. Além disso, o operador pode estabelecer parâmetros para a vida útil do pavimento com base no limite de serviço do PCI. Para determinar o momento adequado para intervenções de restauração de acordo com a taxa de degradação do pavimento, é crucial identificar o valor de PCI crítico de cada seção. Resumidamente, o PCI crítico para manutenção é 70, enquanto o PCI crítico para serviço é 40. A conexão entre o PCI e estratégias de manutenção e reabilitação pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1. Escala do PCI e estratégias de manutenção e reabilitação (ANAC, 2017)

PCI	Classificação	Tipo de Reparo
85 a 100	Excelente	Manutenção Preventiva
70 a 84	Bom	
55 a 69	Regular	Reabilitação
40 a 54	Ruim	
25 a 39	Muito Ruim	Reconstrução
10 a 24	Péssimo	
0 a 9	Ruptura	

METODOLOGIA

Na metodologia deste trabalho foi proposto um desenvolvimento de 5 etapas, sendo elas: (i) inspeção *in loco* do pavimento nos 7 aeroportos; (ii) processamento dos dados; (iii) caracterização dos defeitos existentes; (iv) divisão das pistas em áreas com influencias mecânicas diferentes; (v) avaliação da similaridade dos defeitos nas áreas comuns entre as pistas avaliadas.

Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018 - LGPD), as informações específicas de caracterização dos sete aeroportos avaliados, tais como localização, dimensões, identidade operacional e dados de infraestrutura, não serão divulgadas neste estudo. Com o intuito de preservar a confidencialidade e garantir a proteção de dados institucionais e estratégicos, os aeroportos foram identificados por letras alfabéticas de A a G, permitindo a análise comparativa sem comprometimento da privacidade das entidades envolvidas.

Inspeção do pavimento a caracterização dos defeitos

O levantamento dos defeitos dos pavimentos nos 7 aeroportos avaliados foi realizado por meio do escaneamento de sua superfície, utilizando um veículo equipado com um perfilômetro a laser Classe I, composto por cinco módulos. Além do perfilometro, o veículo também foi equipado com câmeras de vídeo de alta resolução e sistema de georreferenciamento, percorrendo toda a superfície das pistas realizando o registro de 100% da área pavimentada.

A inspeção realizada em veículo com dispositivos de auscultação a laser e de captação de imagem e de georreferenciação teve como principal objetivo inovar no sistema de levantamento unindo a técnica com a tecnologia, a fim de minimizar interferências nas operações aéreas, bem como, reduzir o tempo de exposição de pessoas nas pistas dos aeroportos.
Para isso, após o escaneamento da superfície, os dados foram processados obtendo-se a identificação dos defeitos do tipo depressão, afundamento e trilha de roda e as imagens georreferenciadas foram avaliadas por vídeos obtendo-se o cadastro da área e comprimento dos defeitos visuais. A Figura 2 ilustra os equipamentos e programas utilizados.

Figura 2. Equipamentos e programas (Autores, 2025)

Divisão das Pistas por Zonas Conforme Solicitações Dinâmicas

Para possibilitar a comparação entre os defeitos dos pavimentos dos 7 aeroportos analisados, as pistas de pouso e decolagem foram subdivididas de forma padronizada, considerando os esforços mecânicos atuantes durante as fases operacionais das aeronaves. Essa segmentação permitiu avaliar as similaridades de manifestações patológicas em regiões com funções operacionais equivalentes, independentemente das dimensões totais das pistas. A divisão foi realizada em duas direções: longitudinal (ao longo do eixo da pista) e transversal (em relação à largura da pista), totalizando nove zonas distintas por pista.
A divisão longitudinal buscou identificar zonas com diferentes solicitações mecânicas oriundas das operações de pouso, rolamento, frenagem e manobras de acesso. Cada pista foi segmentada em quatro partes, com as seguintes denominações: (i) Zona de Toque (ZT), corresponde aos primeiros metros da pista a partir da cabeceira operacional. É a região mais crítica em termos de impacto e abrasão, visto que recebe o toque das aeronaves durante o pouso. (ii) Zona Central (ZC), representa a seção intermediária da pista, entre o final da zona de toque e o início da zona de frenagem. Essa região é utilizada principalmente para o rolamento e aceleração durante as decolagens, sendo caracterizada por menor intensidade de impacto vertical, mas sujeita a fadiga acumulada. (iii) Zona de Frenagem (ZF), corresponde aos últimos metros da pista antes da cabeceira oposta. Essa seção está sujeita a esforços intensos durante frenagens e decolagens abortadas.

A divisão transversal buscou separar as zonas com diferentes frequências de solicitações. Foram definidas três faixas: (i) Faixa Central de Rolamento (FC), abrange a faixa de aproximadamente 7 metros centrais, correspondente ao caminho padrão das rodas principais das aeronaves. É a faixa com maior frequência de solicitação mecânica; (ii) Faixa Lateral Direita (FLD) corresponde à metade lateral direita restante da largura útil da pista, com menor frequência de tráfego direto; (iii) Faixa Lateral Esquerda (FLE), representa a metade lateral esquerda da largura da pista. Assim como a faixa direita, apresenta menor intensidade de carga direta.

Nas divisões também foram consideradas as áreas de conexão, chamadas de Zona de Manobras (ZM) com *Taxiways*, são áreas localizadas ao longo da pista, geralmente próximas às interseções com *taxiways*, onde ocorrem manobras para entrada ou saída da pista. Essas regiões apresentam elevada frequência de movimentos de curva, torque lateral e frenagens controladas.

A interseção entre os quatro segmentos longitudinais, três faixas transversais e zonas de manobra resultou em um total de dez zonas distintas, conforme Tabela 2. Cada defeito identificado foi georreferenciado e associado à zona correspondente, permitindo a análise estatística das manifestações mais recorrentes por área funcional. Essa sistemática possibilitou a identificação de padrões e similaridades entre aeroportos distintos.

Tabela 2. Divisão das áreas conforme solicitações dinâmicas (Autores, 2025)

Divisão das Áreas	FLE	FC	FLD
ZT	Zona 1 (Z1)	Zona 2 (Z2)	Zona 3 (Z3)
ZC	Zona 4 (Z4)	Zona 5 (Z5)	Zona 6 (Z6)
ZF	Zona 7 (Z7)	Zona 8 (Z8)	Zona 9 (Z9)
ZM	Zona 10 (Z10)		

Análise Estatística dos Dados

Após o processamento e georreferenciamento dos dados obtidos durante as inspeções visuais automatizadas, foi realizada uma análise estatística descritiva para caracterizar o comportamento dos defeitos por zona funcional e por aeroporto. Inicialmente, os dados foram organizados em uma matriz contendo as quantidades de cada tipo de defeito observadas em todas as zonas (Z1 a Z10) de cada um dos 7 aeroportos avaliados. Em seguida, foi aplicada uma estratégia de agrupamento por zona funcional, com o objetivo de calcular a média aritmética da extensão ou ocorrência de cada defeito por zona.

Essa abordagem permitiu identificar tendências de manifestação patológica associadas a cada região da pista, considerando que zonas com a mesma função operacional (como toque, frenagem ou manobra) são submetidas a solicitações mecânicas similares.

RESULTADOS

Este capítulo apresenta de forma abrangente e detalhada os resultados obtidos a partir da aplicação do índice PCI em sete aeroportos brasileiros. A metodologia incluiu a análise por zonas funcionais das pistas (Z1 a Z10) e por tipos de patologias observadas conforme a norma ASTM D5340. As avaliações realizadas envolveram análises quantitativas, correlações estatísticas e representação gráfica para maior clareza dos dados.

Quantificação Geral de Defeitos

O somatório total das ocorrências de cada tipo de defeito identificado ao longo das inspeções realizadas demonstrou que o defeito remendo foi o mais prevalente, com 252.739 m², seguido de envelhecimento ou desagregação com 61.679 m² e trincas transversais e longitudinais totalizando 27.048 m (Figura 3). O elevado número de remendos sugere a aplicação extensiva de manutenções corretivas pontuais. Isso pode indicar ações regulares de manutenção preventiva ou corretiva. A presença marcante de envelhecimento e trincas longitudinais e transversais indica desgaste natural e fadiga superficial dos revestimentos.

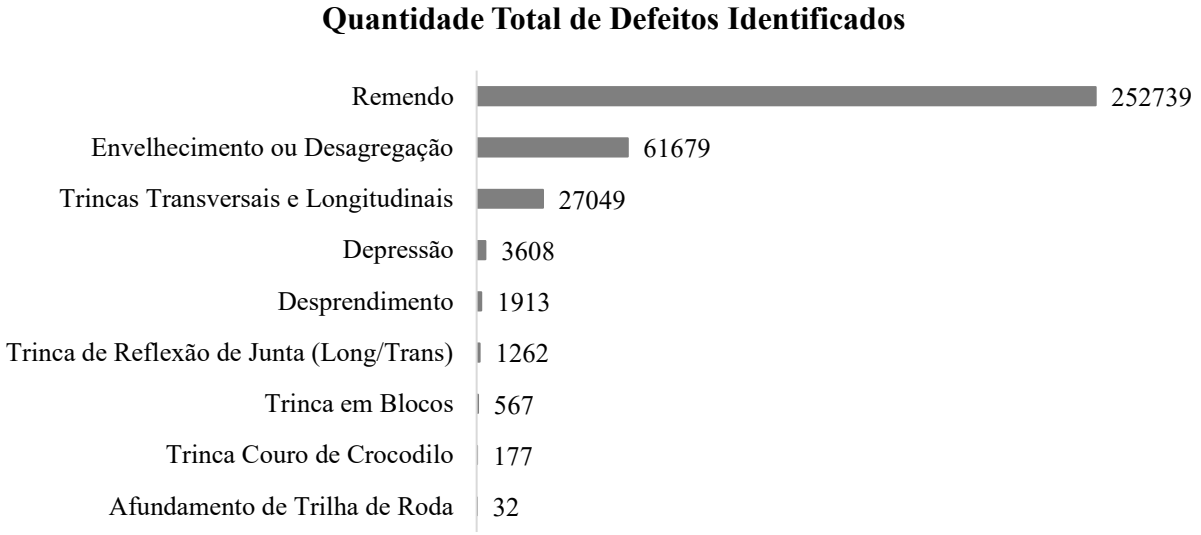

Figura 3. Total de defeitos identificados nos aeroportos avaliados (Autores, 2025)

Análise por Zona Operacional

A análise segmentada por zonas funcionais revelou padrões consistentes de manifestação patológica associados às diferentes solicitações operacionais ao longo das pistas. As zonas correspondentes às áreas de toque (Z1 a Z3) e de frenagem (Z7 a Z9) concentraram os maiores índices de defeitos, tais como trincas longitudinais, depressões, envelhecimento do revestimento e desprendimentos superficiais, danos compatíveis com regiões submetidas a elevados esforços de impacto e desaceleração.

Nas áreas centrais (Z4 a Z6) estão localizadas os registros de remendos, indicando que esta área recebe maior atenção e ações de manutenção mais frequentes, isso ocorre pois é a área mais utilizada da pista.

As zonas Z1, Z2 e Z3 apresentaram predominância de defeitos de natureza estrutural e de fadiga, com destaque para trincas transversais e reflexões de junta. Por sua vez, as zonas Z7, Z8 e Z9 demonstraram recorrência significativa de afundamentos em trilhas de roda e remendos de grande extensão, atribuídos às intensas forças horizontais geradas durante as manobras de frenagem e eventuais decolagens abortadas.

A Zona 10, correspondente às áreas de transição com *taxiways*, apresentou menor incidência de falhas estruturais relevantes, sendo mais acometida por manifestações funcionais, como manchas de óleo, envelhecimento superficial e desagregação dos agregados.
Tais distribuições reforçam a hipótese de que os tipos e intensidades das solicitações mecânicas variam conforme a função operacional da zona, influenciando diretamente os mecanismos de degradação observados. Esses achados evidenciam a relevância da segmentação funcional como ferramenta de apoio à priorização técnica das ações de manutenção e reabilitação dos pavimentos aeroportuários.

Similaridade de Defeitos entre os Aeroportos Avaliados

A análise de similaridade entre os aeroportos foi realizada com base nos somatórios dos defeitos identificados em cada pista, organizados por zona funcional. Para avaliar o grau de correlação entre os padrões de manifestação patológica, utilizou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r), aplicado à matriz de dados obtida a partir das inspeções visuais automatizadas.
A matriz de correlação de Person (Figura 6) indica o nível de associação entre os aeroportos A a G, permitindo identificar agrupamentos com comportamento patológico semelhante.
Os principais achados foram: (i) Os aeroportos A, C, E e F apresentaram altos coeficientes de correlação entre si ($r > 0,90$), indicando padrões semelhantes de ocorrência de defeitos ao longo das zonas avaliadas; (ii) Os aeroportos B e D mostraram correlação muito elevada ($r = 0,99$), evidenciando grande similaridade nas manifestações patológicas; (iii) O aeroporto G, por sua vez, apresentou comportamento dissociado, com correlação média de aproximadamente 0,51 em relação aos demais, indicando padrão de defeitos distinto.

	A	B	C	D	E	F	G
A	1,00	0,85	0,92	0,91	0,94	0,93	0,50
B	0,85	1,00	0,87	0,99	0,88	0,89	0,52
C	0,92	0,87	1,00	0,86	0,95	0,91	0,49
D	0,91	0,99	0,86	1,00	0,89	0,88	0,53
E	0,94	0,88	0,95	0,89	1,00	0,92	0,50
F	0,93	0,89	0,91	0,88	0,92	1,00	0,51
G	0,50	0,52	0,49	0,53	0,50	0,51	1,00

Figura 6. Matriz de correlação de Person entre os aeroportos avaliados (Autores, 2025)

Condição Funcional dos Pavimentos

A Tabela 3 apresenta os valores médios do PCI obtidos para cada um dos sete aeroportos avaliados. De acordo com os critérios estabelecidos pela ANAC (2017), todos os aeroportos se enquadram nas faixas bom (70–84) ou regular (55–69), indicando condições funcionais aceitáveis para operação.
A maioria dos aeroportos apresentou índices próximos ou acima de 75, refletindo condições satisfatórias de manutenção e integridade superficial. Destacam-se os aeroportos C (PCI = 82) e D (PCI = 83) com os melhores desempenhos médios.

Por outro lado, o aeroporto G, com PCI médio de 66, encontra-se na faixa inferior da classificação regular, próximo ao limite de 55, que marca o início da condição considerada ruim. Esse resultado exige atenção especial, pois valores de PCI próximos ao limiar inferior sugerem uma tendência de degradação acelerada e indicam a necessidade de planejamento de intervenções preventivas ou corretivas prioritárias, visando evitar o avanço para condições críticas que comprometam a segurança operacional ou exijam soluções de maior custo e complexidade.

Além disso, a análise dos coeficientes de correlação entre o valor médio do PCI e os principais tipos de defeitos observados revelou padrões significativos. Verificou-se uma forte correlação negativa entre o PCI e os defeitos estruturais, como trincas longitudinais e transversais, reflexões de junta e afundamentos, o que evidencia o impacto direto dessas manifestações na redução da condição funcional dos pavimentos.

Em contrapartida, defeitos de natureza superficial, como remendos e manchas de óleo, apresentaram correlação fraca com o PCI, o que reforça o entendimento de que, apesar de interferirem na estética e operação, sua influência sobre a pontuação do índice é limitada. Isso ressalta a importância de não utilizar o PCI de forma isolada na tomada de decisão, mas sim aliado a análises qualitativas dos tipos, severidades e localizações dos defeitos.

Tabela 3. PCI médio de cada pista de aeroporto (Autores, 2025)

Código do Aeroporto	PCI Médio
A	78
B	73
C	82
D	83
E	80
F	76
G	66

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo reforçam a relevância da segmentação funcional das pistas como estratégia eficaz para a avaliação da condição dos pavimentos aeroportuários. Foi possível verificar que os tipos e a distribuição dos defeitos variam significativamente conforme a função operacional de cada zona, sendo diretamente influenciados pelas cargas dinâmicas e horizontais características das fases de pouso, frenagem e taxiamento.

A análise estatística demonstrou a existência de padrões de similaridade entre alguns aeroportos, enquanto outros apresentaram comportamentos patológicos distintos. Além disso, observou-se que o PCI se correlaciona fortemente com defeitos existentes, confirmando seu valor como ferramenta diagnóstica. A presença de intervenções recentes realizadas nas zonas centrais nos aeroportos indica que essa área tem maior atenção dos administradores.

Diante disso, recomenda-se que a gestão de pavimentos aeroportuários utilize o PCI em conjunto com uma análise técnica detalhada da distribuição, natureza e severidade dos defeitos, visando à priorização de intervenções que garantam segurança, durabilidade e eficiência operacional.

Importante destacar que este estudo apresentou limitações relevantes, como a amostra restrita a sete aeroportos e a ausência de avaliação da condição estrutural das camadas do pavimento, das condições de aderência da pista, macrotextura e microtextura e da irregularidade longitudinal. Portanto, o uso exclusivo do PCI restringe a análise a aspectos funcionais visuais.
Com base nos achados e na literatura analisada, propõem-se as seguintes direções para pesquisas futuras:

- Avaliação multiaeroportuária incluindo ensaios estruturais, de aderência e de irregularidade longitudinal;
- Aplicação de inteligência artificial para previsão da degradação dos pavimentos e apoio à tomada de decisão em manutenção.
- Estudos sobre a influência de fatores ambientais e climáticos na manifestação e progressão dos defeitos.
- Avaliação da eficácia de técnicas de manutenção corretiva, considerando sua durabilidade estrutural ao longo do tempo.
- Comparações entre diferentes soluções construtivas e materiais empregados, visando identificar alternativas mais eficientes e sustentáveis.
- Integração do PCI com outros indicadores funcionais, como coeficiente de fricção e textura superficial, para análises mais abrangentes da condição da pista.
- Emprego de tecnologias emergentes, como drones, visão computacional e sensores embarcados, em sistemas automatizados de inspeção.
- A adoção dessas abordagens pode ampliar a precisão dos diagnósticos e aumentar a efetividade das estratégias de manutenção e reabilitação aplicadas à infraestrutura aeroportuária nacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S. DA S. DE, PINHEIRO, ÉRIKA CNM, & LEOCÁDIO, A. DA S. Aplicação do índice de condição do pavimento (PCI) em pista de pouso e decolagem (PPD). Estudo de caso: aeroporto de flores. Revista Brasileira de Desenvolvimento. Pág. 73781–73800, 2022. DOI: https://doi.org/10.34117/bjdv8n11-199.

ANAC. Manual sobre Critérios de Movimentação no Solo e SOCMS. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), Superintendência de Infraestrutura Aeroportuária (SIA), Pág 134, 2022.

ASTM D5340-24. Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys. Pennsylvania (PA), United States: ASTM International, West Conshohocken, 2024.

BOEING. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Estados Unidos, Pág.32, 2024.

CNN. Após avião ser atingido por asfalto, decolagem é interrompida em SC. 2023. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/asfalto-atinge-aviao-durante-decolagem-em-sc-e-voo-e-interrompido. Acesso em: 09 mar 2024.

COSTA; SILVA. A segurança operacional sob a ótica do gerenciamento em manutenção aeroportuários. Revista Ação Ergonômica, Vol. 13, Pág. 25, 2018, DOI: http://dx.doi.org/10.4322/rae.v13e201806.

FAA. Airport Pavement Management Program (PMP). Advisory Circular - AC 150/5380-7B. Federal Aviation Administration (FAA). United States Department of Transportation, Pág. 22, 2014.

FAA. Guide lines and Procedures for Maintenance of Airport Pavements. Advisory Circular AC 150/5380 6C. Federal Aviation Administration (FAA). United States Department of Transportation, Pág.52, 2014.

HERMAWAN, ANDRI IRFAN RIFAI, USMANUL HAYADI UMAR. Analysis of Pavement Condition Index Method for Maintenance and Rehabilitation Strategy for Airport Flexible Pavement: A Bibliometric Review. Asian Journal of Engineering, Vol.3, Pág. 11, 2024. DOI: https://doi.org/10.46799/ajesh.v3i4.292.

ICAO. Runway Safety Programme - Global Runway Safety Action Plan. International Civil Aviation Organization (ICAO). Peru: Global, Runway Safety Action Plan, Pág 43, 2017.

LYRA. Avião que derrapou em pista é removido e aeroporto de Florianópolis retoma operações. Disponível Em: Https://Portalbenews.Com.Br/Aviao-Que-Derrapou-Em-Pista-E-Removido-E-Aeroporto-De-Florianopolis-Retoma-Operacoes. Acesso em: 09 mar 2024.

MOREIRA, F. Avião parte para decolagem e levanta enorme pedaço de asfalto de pista na Austrália. 2023. Disponível Em: https://extra.globo.com/blogs/page-not-found/post/2024/09/aviao-parte-para-decolagem-e-levanta-enorme-pedaco-de-asfalto-de-pista-na-australia.ghtml. Acesso em: 09 mar 2024.

MOURA, I. R. Proposta de um Modelo de Avaliação de Pavimentos Aeroportuários para Determinação de Estratégias de Manutenção. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Pág. 183, 2021.

NEWS. Asfalto esfarela e prende avião na pista do aeroporto de Congonhas, em SP. 2023. Disponível Em: https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/12/08/aviao-da-gol-fica-preso-a-pista-no-aeroporto-de-congonhas-em-sp-devido-a-problema-no-asfalto.ghtml. Acesso em: 09 mar 2024.