

19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## 25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

### USO DE ORTOIMAGEM PARA A DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONDIÇÃO FUNCIONAL DE PAVIMENTO RÍGIDO AEROPORTUÁRIO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

*Maria Beatriz Cavalcanti de Melo Collier<sup>1</sup>; Ivana Gomes Maia<sup>2</sup>; Fabiano Pereira Cavalcante<sup>3</sup>;  
Layza Verbena de S. S. Machado Costa<sup>4</sup>*

#### RESUMO

Todo pavimento, logo após sua construção, está submetido a diversos tipos de ações externas que culminam na deterioração progressiva da qualidade do pavimento, incorrendo no surgimento de defeitos. O monitoramento, com a avaliação da superfície do pavimento, se configura como medida preventiva no sentido de caso necessário, programar ações de manutenção, de modo a evitar uma degradação acelerada a ponto de deixar a área inoperável. A ANAC (2017) reporta o PCI como o principal método de determinação da condição funcional de pavimentos aeroportuários, fornecendo base racional e objetiva para determinação das necessidades e das prioridades de manutenção e reparo. O presente estudo foi desenvolvido utilizando o Leica Pegasus: Two Ultimate. Foi realizado o mapeamento completo da condição funcional do pavimento rígido do Pátio 3 de aeronaves do Aeroporto Internacional de Brasília, por meio de fotos de alta qualidade registradas em diversos ângulos. Considerou-se como referência a norma da ASTM D5340/20, que consiste em, inicialmente, caracterizar áreas típicas. Para o cálculo do valor do PCI nas seções estabelecidas foi utilizado o programa PAVEAIR da FAA. Foram elaboradas planilhas para o mapeamento de todas as patologias existentes por placas, anotando em cada uma o código do tipo de deterioração e o nível de severidade. As ortofotos foram usadas para identificar os defeitos, com auxílio do software “CIVIL 3D as AutoCAD”. O ortomosaico obtido por meio do mapeamento dos defeitos oriundos da análise funcional realizada no Pátio 3 do Aeroporto Internacional de Brasília forneceu uma visão ampla da área para fins de tomada de decisões para as soluções de manutenção e reabilitação e, conseqüentemente, para o gerenciamento da rede.

**PALAVRAS-CHAVE:** PCI; Ortofotos; Gerenciamento; Manutenção.

#### ABSTRACT

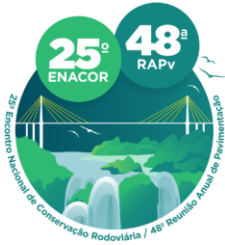
Every pavement, soon after its construction, is subjected to different types of external actions that culminate in the progressive deterioration of the quality of the pavement, incurring the appearance of pathologies. Monitoring, with the evaluation of the surface of the pavement, is configured as a preventive measure in the sense, if necessary, to schedule maintenance actions in order to avoid accelerated degradation to the point of leaving the area inoperable. ANAC (2017) reports the PCI as the main method for determining the functional condition of airport pavements, providing a rational and objective basis for determining maintenance and repair needs and priorities. The present study was developed using the Leica Pegasus: Two Ultimate. A complete mapping of the functional condition of the rigid pavements of the aprons of the Brasília International Airport was carried out, using high quality photos recorded at different angles. The ASTM D5340/20 standard was considered as a reference, which initially consists of characterizing typical areas. To calculate the PCI value in the established sections, the FAA PAVEAIR program was used. Spreadsheets were prepared for mapping all existing pathologies by plaques, noting the code of the type of deterioration and the level of severity in each one. The orthophotos were used to identify the defects, with the aid of the “CIVIL 3D as AutoCAD” software. The orthomosaic obtained through the mapping of defects arising from the functional analysis carried out on Patio 3 of the International Airport of Brasília provided a broad view of the area for decision-making purposes for maintenance and rehabilitation solutions and, consequently, for network management.

**KEY WORDS:** PCI. Orthophotos; Management; Maintenance.

<sup>1</sup> Future Motion Brasil, [beatriz.collier@future-motion.eu](mailto:beatriz.collier@future-motion.eu); [layza.machado@future-motion.eu](mailto:layza.machado@future-motion.eu)

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, [ivana.maia@ufpe.br](mailto:ivana.maia@ufpe.br)

<sup>3</sup> JBR Engenharia Ltda, [fabiano@jbr.eng.br](mailto:fabiano@jbr.eng.br)



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## INTRODUÇÃO

Para atender a segurança necessária das operações aéreas, a conservação da rede de pavimentos deve ser planejada e executada adequadamente. A detecção de quando o pavimento irá atingir estados de degradação indesejáveis e ter as medidas de manutenção e reabilitação (M&R) necessárias para prevenir que isto ocorra, é um dos objetivos principais de um Sistema de Gestão de Pavimentos Aeroportuários - SGPA.

De acordo com a FAA (1995), os pavimentos aeroportuários são construídos para suportar as cargas impostas pelas aeronaves e permitir o adequado deslocamento delas nas denominadas áreas de movimento dos aeroportos, o que significa fazê-lo com segurança, conforto e eficiência de fluxo. Eles devem apresentar bom desempenho e resistir as intempéries e aos impactos dos gases do escoamento dos motores à reação, produzir superfície firme, estável, regular, livre de poeira ou de outras partículas que possam ser expelidas ou captadas pelo deslocamento de ar, tanto ao natural quanto produzido pela hélice do helicóptero ou pelo jato de uma aeronave. São essencialmente superfícies não escorregadias diante de quaisquer condições meteorológicas adversas.

O monitoramento, com a avaliação da superfície do pavimento, se configura como medida preventiva no sentido de caso necessário, programar ações de manutenção, evitando uma degradação acelerada capaz de tornar a área inoperável. A Figura 01 mostra o fluxograma contendo a metodologia utilizada para avaliação da condição do pavimento existente.

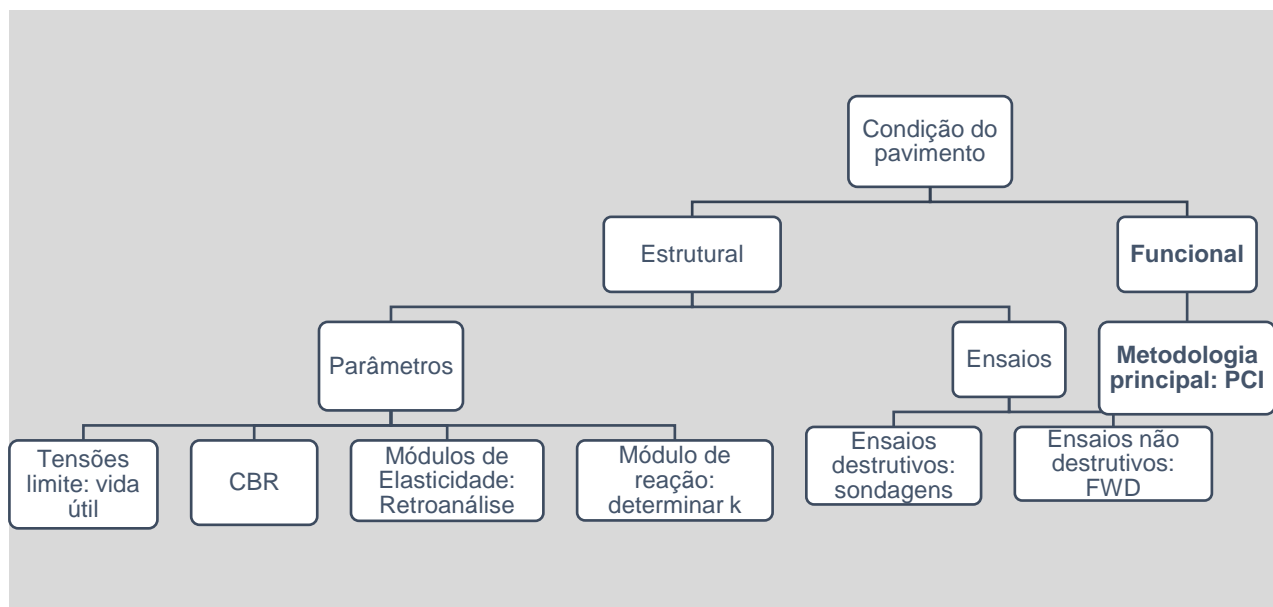
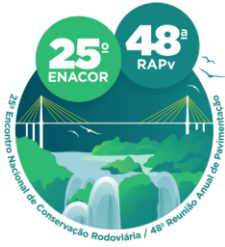


Figura 1. Metodologia para avaliação da condição do pavimento.

Como forma de avaliar a superfície de pavimentos aeroportuários, a FAA (2014) aponta o uso do *Pavement Condition Index* (PCI), índice para determinação da condição funcional, tanto do pavimento rígido como do flexível. Ademais, a ANAC (2017) reporta o PCI como o principal método de determinação da condição funcional, quanto à presença de defeitos, fornecendo base racional e objetiva para determinação das necessidades e das prioridades de manutenção e reparo.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



A metodologia do PCI, acrônimo de *Pavement Condition Index*, regida pela norma ASTM D5340-20 (*Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*), é um índice numérico e qualitativo que varia de 0 (representando um pavimento em condição de ruptura) até o valor de 100 (representando um pavimento numa condição excelente), conforme Figura 2, sendo um indicador de serventia amplamente utilizado internacionalmente e nacionalmente (SHAHIN, 2005; FAA, 2014; ANAC, 2017).

	PCI	Escala	Cores
	85 à 100	<b>Excelente</b>	Verde escuro
	70 à 84	<b>Bom</b>	Verde Claro
PCI Crítico de Manutenção (70)	55 à 69	<b>Regular</b>	Amarelo
	40 à 54	<b>Ruim</b>	Laranja
PCI Crítico de Serviço (40)	25 à 39	<b>Muito Ruim</b>	Vermelho
	10 à 24	<b>Péssimo</b>	Vermelho escuro
	0 à 09	<b>Ruptura</b>	Cinza escuro

Figura 2. Escala PCI. Fonte: ANAC (2017).

Segundo Cordovil *et al.* (2022), a utilização do método *Pavement Condition Index* – PCI (ASTM, 2020) para determinação da qualidade funcional nas superfícies dos pavimentos aeroportuários é importante ferramenta de apoio a um SGPA eficiente (ANAC, 2017). Objetivamente, o método considera defeitos na superfície do pavimento em termos de severidade e de densidade em uma avaliação amostral.

A monitorização contínua do PCI é utilizada para possibilitar a identificação dos defeitos e, com isso, em tempo útil as principais necessidades de reabilitação. O PCI fornece informações sobre o desempenho do pavimento para validação ou para incorporar melhorias no projeto e procedimentos de manutenção do pavimento.

A Figura 3 apresenta as principais estratégias de Manutenção e Reabilitação.

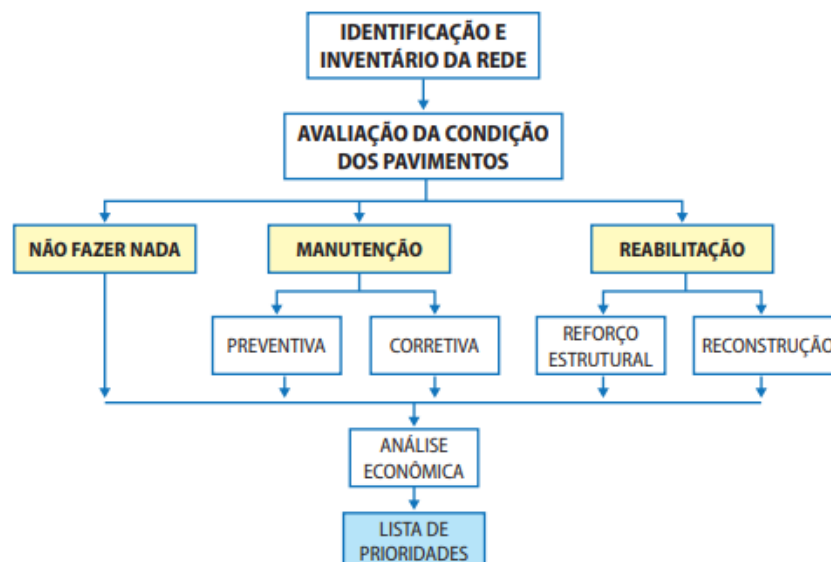
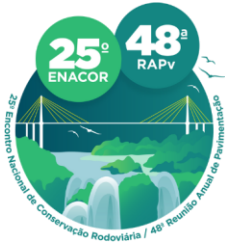


Figura 3. Estratégias M&R. Fonte: ANAC (2017).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



O objetivo do presente estudo é demonstrar que o método para identificação de defeitos nos pavimentos, por meio do levantamento visual contínuo informatizado - LVCI, é vantajoso quando comparado aos procedimentos vigentes, nos quais o técnico precisa se deslocar ao campo e trafegar pela via. Maia *et al.* (2022) destacam a eficiência com relação ao tempo de obtenção da análise do pavimento em campo.

Scabello (2018) ressalta que a aplicação do equipamento Pavement Scanner na avaliação funcional de pavimentos em rodovias é retratada na busca do melhoramento da obtenção dos dados, aumento na qualidade do produto e diminuição de risco dos profissionais e interferências do tráfego com levantamentos das rodovias.

O uso de equipamentos do tipo laser scanner confere maior qualidade e segurança durante a coleta dos dados que subsidiam projetos de pavimentos, assim como, sistemas de gerência de pavimentos.

## METODOLOGIA

Esse estudo foi desenvolvido utilizando o Leica Pegasus: Two Ultimate, que é um sistema móvel de captura de realidade composto por unidade LIDAR com capacidade de coleta de até 1 milhão de pontos por segundo fornecendo uma nuvem de pontos detalhada, conforme mostra a Figura 04.

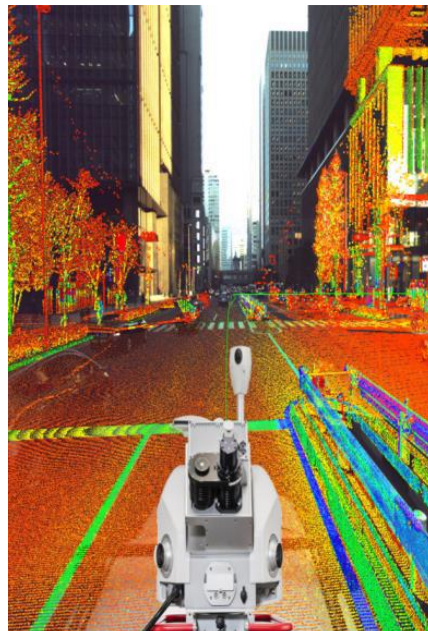
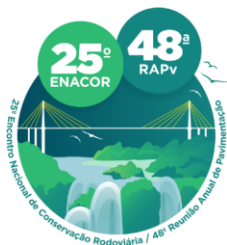


Figura 4. Escaneamento a Laser. (Leica Geosystems, 2022).

O Pegasus possui um sistema de câmeras, sendo constituído por uma câmera 360°, 4 (quatro) câmeras laterais e 2 (duas) câmeras traseiras para análise de pavimento. O equipamento também tem uma unidade de posicionamento global GNSS, que rastreia todos os satélites de posicionamento em órbita, e um sistema inercial IMU para retificação dos movimentos. O Pegasus obtém fotografias com qualidade de imagem de 12 MP (doze megapixels) e compactação JPEG integrada. Ele registra 7 (sete) fotografias simultâneas com perspectivas e ângulos diversos, viabilizando um mapeamento



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



total da via. As câmeras 5 e 6 são utilizadas para mapear o pavimento, e a 6 utilizada para gerar as ortofotos, conforme ilustrado na Figura 05.

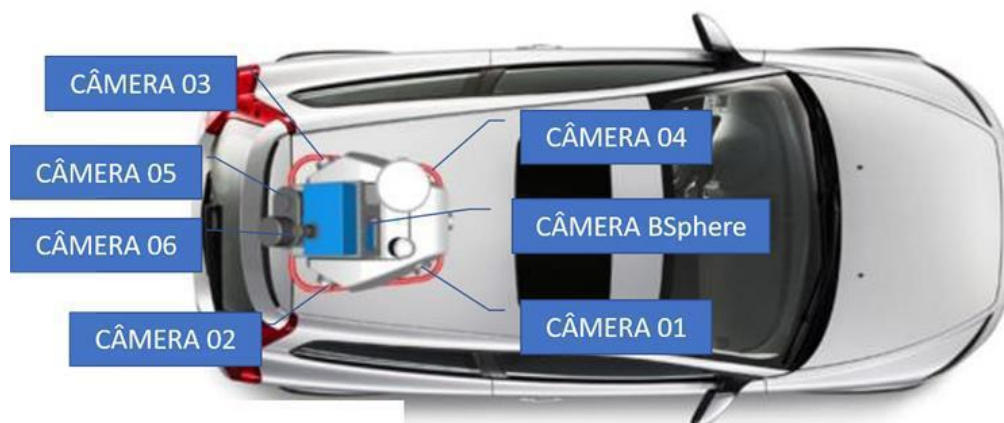
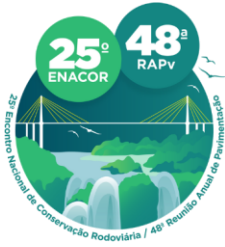


Figura 5. Disposição das câmeras do levantamento Pegasus. Fonte: Maia *et al.* (2022).

As câmeras laterais oferecem 8,0 FPS a 12 MP, sendo que cada câmera lateral fornece  $61^\circ \times 47^\circ$  FOV. O tamanho máximo de pixels em 10m é de 3mm. Possui ainda câmera de pavimento ajustável com lentes de 12mm, permitindo a captura de imagem direcionada ao longo de uma estrutura de pavimento.

Com a nuvem de pontos e as ortofotos fornecidas pelo Pegasus foram elaborados ortomosaicos. O especialista, utilizando o software da Autodesk - Civil 3D, sobrepôs o estaqueamento digital georreferenciado da rodovia, visando adquirir maior precisão da área deteriorada, com um aumento de produtividade, mitigando, inclusive, os riscos a ele.

Para desenvolver a metodologia do PCI foi utilizada como referência a norma da ASTM D5340/20. A determinação do PCI baseou-se na identificação e magnitude dos defeitos existentes a partir da delimitação das unidades amostrais. Na Tabela 1 estão listados os defeitos relacionados ao pavimento rígido. Cada tipo pode apresentar níveis de gravidade diferentes, sendo L (Baixo/Low), M (Médio/Medium) e H (Alto/High).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



Tabela 1. Patologias em pavimentos rígidos. Fonte: Adaptado de ASTM D5340/20 e ANAC (2019).

Código	Tipo de Deterioração	Nível de Gravidade
1	Levantamento de placas (Blowup)	L / M / H
2	Quebra de canto (Corner Break)	L / M / H
3	Trincas long, transv e diag (Cracks)	L / M / H
4	Trinca D (Durability D Cracking)	L / M / H
5	Material selante danificado (Joint Seal Damage)	L / M / H
6	Remendo pequeno (Patching Small)	L / M / H
7	Remendo grande (Patching Large)	L / M / H
8	Pequenos buracos (Popouts)	L / M / H
9	Bombeamento (Pumping)	N/A
10	Trincas desnorteadas ou descamamento (Scalling/Map Crack/ Cracking)	L / M / H
11	Desnívelamento de placas (Settlement or Faulting)	L / M / H
12	Placa dividida (Shattered Slab/Intersecting Cracks)	L / M / H
13	Trincas de contração (Shrinkage Cracks)	N/A
14	Esborcinamento de junta (Shrinkage Cracks)	L / M / H
15	Esborcinamento de canto (Spalling Corner)	L / M / H

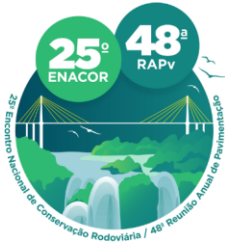
## ESTUDO DE CASO

O objeto do estudo é o Pátio de Estacionamento de Aeronaves 3 (Figura 6) do Aeroporto Internacional de Brasília, o qual está localizado na região administrativa do Lago Sul, no Distrito Federal, Brasil.



Figura 6. Mapa de localização do Pátio 3 do Aeroporto Internacional de Brasília. Fonte: Future Motion Brasil/2023.

Inicialmente foram caracterizadas as áreas típicas, conforme preconizado pela norma ASTM D5340/20. Cada área típica foi dividida em seções homogêneas e em seguida, as seções homogêneas



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



foram divididas em unidades amostrais. As unidades amostrais consistem numa subdivisão da seção do pavimento para um tamanho padrão.

O último passo no processo para definição de rede consistiu em dividir cada seção em unidades de análise, com especial importância para efeitos de inspeção da condição do pavimento. A norma estipula que o tamanho da unidade amostral para os pavimentos rígidos aeroportuários seja de 20 placas de concreto contíguas (+/- 8 se o número total não for divisível por 20, ou para acomodar condições de campo específicas).

Nos últimos anos as normas ASTM que controlam o método PCI foram revisadas e incorporadas no programa PAVEAIR da FAA. Este software foi o utilizado neste estudo para o cálculo do valor do PCI nas seções.

Para o cálculo do PCI do Pátio 3 a divisão de seções homogêneas foi separada por zonas. Estas zonas foram classificadas em Zonas Carregadas (ZC), que englobam as placas localizadas nas áreas de parada das aeronaves, e Zonas Não Carregadas (ZNC), conforme Figura 7.

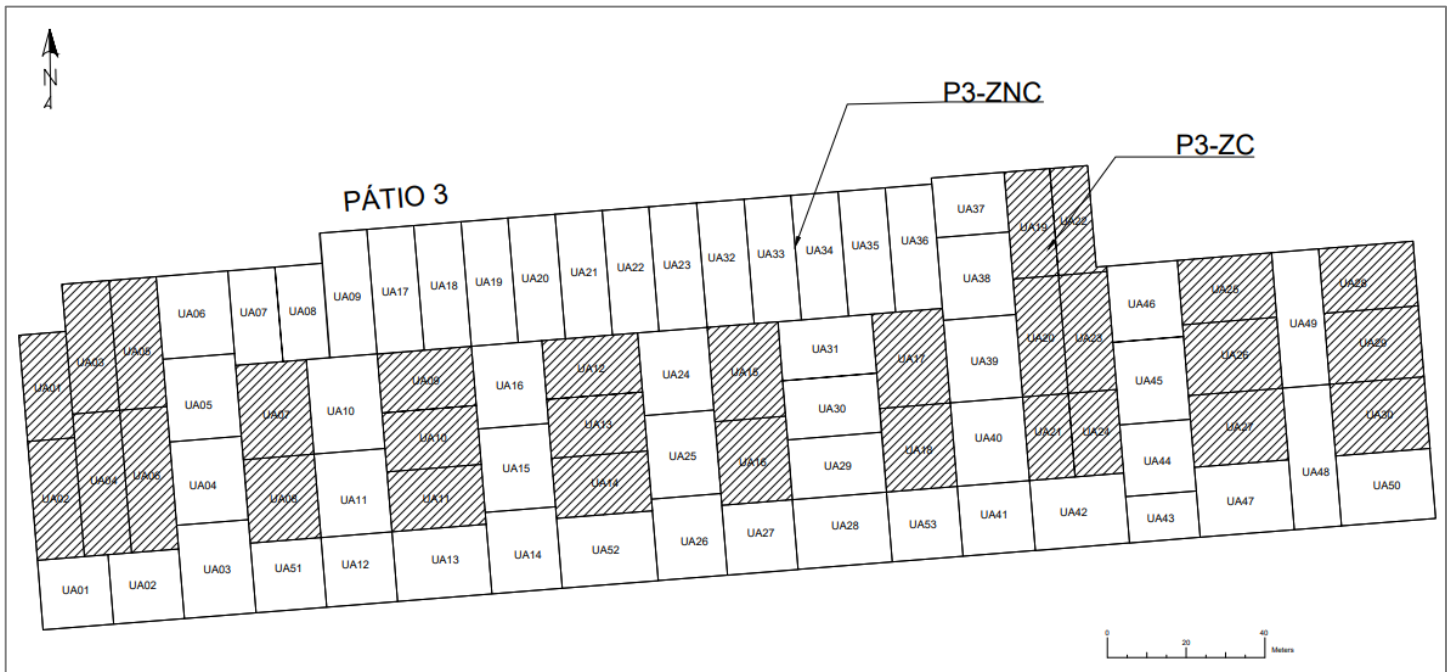
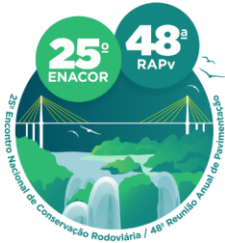


Figura 7. Localização das Zonas Carregadas e Não Carregadas. Fonte: Future Motion Brasil (2023).

Após a definição de todas as unidades amostrais, foram elaboradas as planilhas para o mapeamento de todas as patologias existentes por placas, anotando em cada uma o código do tipo de deterioração e o nível de severidade. Para isso, foram utilizadas as ortofotos para identificar os defeitos, com auxílio do software “CIVIL 3D as AutoCAD”, como mostra a Figura 8.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)

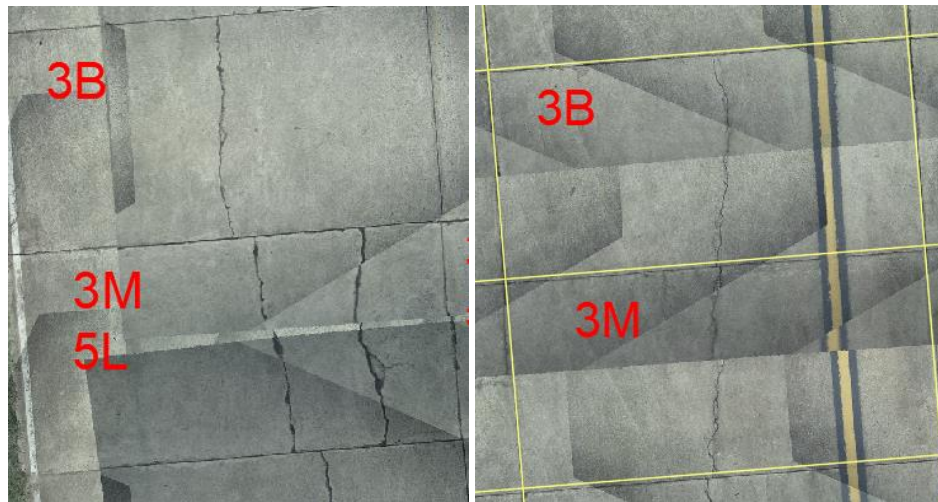


Figura 8. Mapeamento de patologias por placas. Fonte: Future Motion Brasil (2023).

Para localização das placas foi empregada uma codificação simples, contendo colunas e linhas nomeadas, facilitando assim a visualização de toda a condição superficial do pátio. O resultado de todo o levantamento está apresentado na Figura 9.

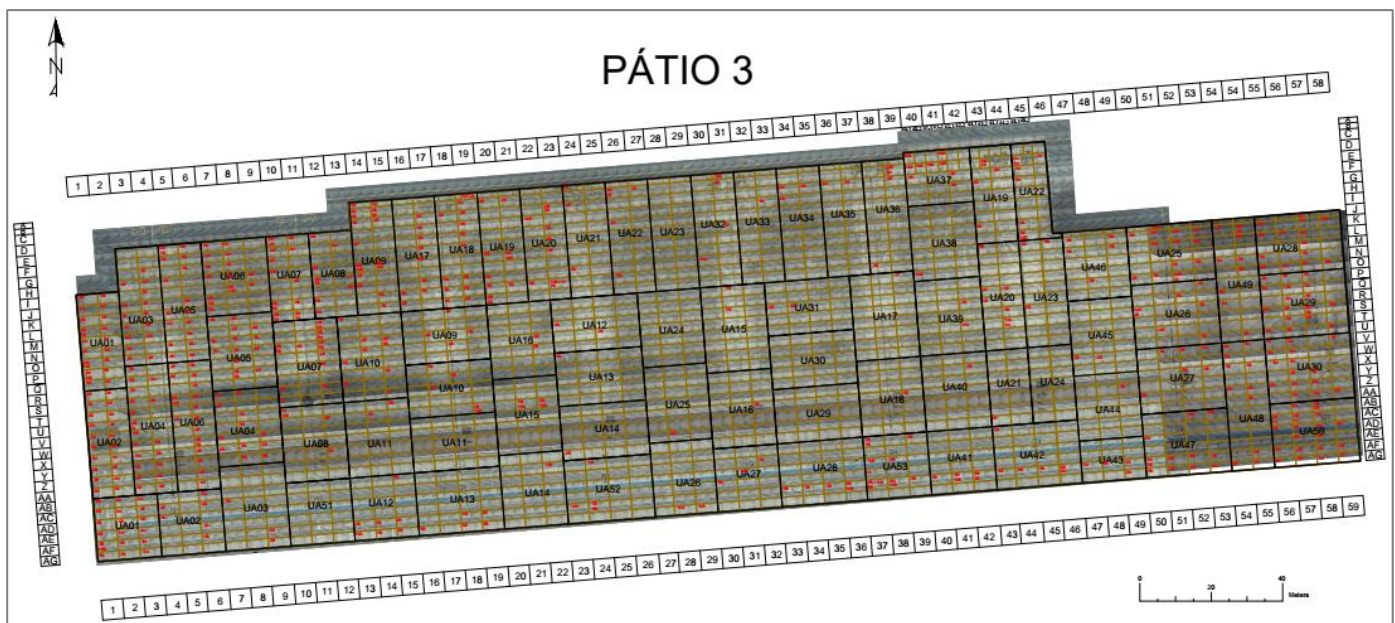
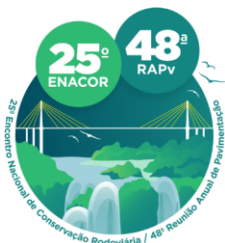


Figura 9. Mapeamento de patologias. Fonte: Future Motion Brasil (2023).

## RESULTADOS

Os resultados de PCI obtidos para a estrutura de pavimento rígido existente no Pátio 3 do Aeroporto Internacional de Brasília, por meio do programa PAVEAIR, constam nas Figuras 10, 11, 12 e 13.





19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

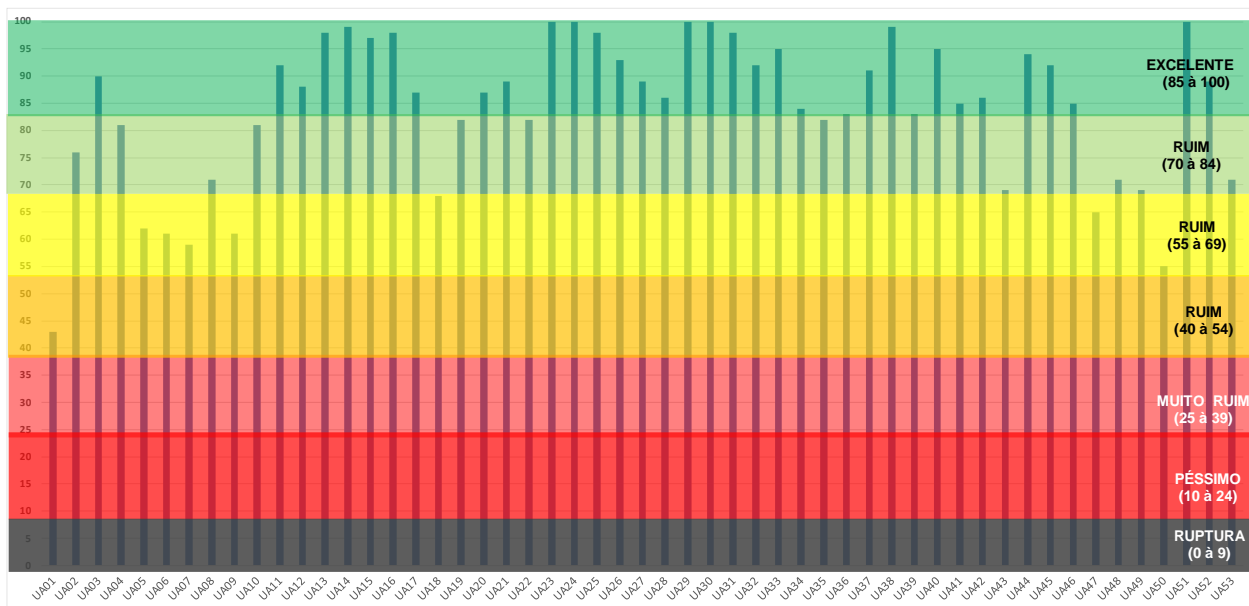


Figura 10. Gráfico dos resultados do PCI – P3 ZNC. Fonte: Future Motion Brasil (2023).

Para o P3 ZNC, 58,49% das amostras apresentam conceito de “Excelente”, 22,64% de “Bom”, 16,98% de “Regular” e apenas 1,89% de “Ruim”, conforme mostram as Figuras 10 e 11. Obviamente, esta condição pode ser atribuída ao fato de tratar-se de zonas não carregadas. Isto é, não sujeitas aos esforços das aeronaves.

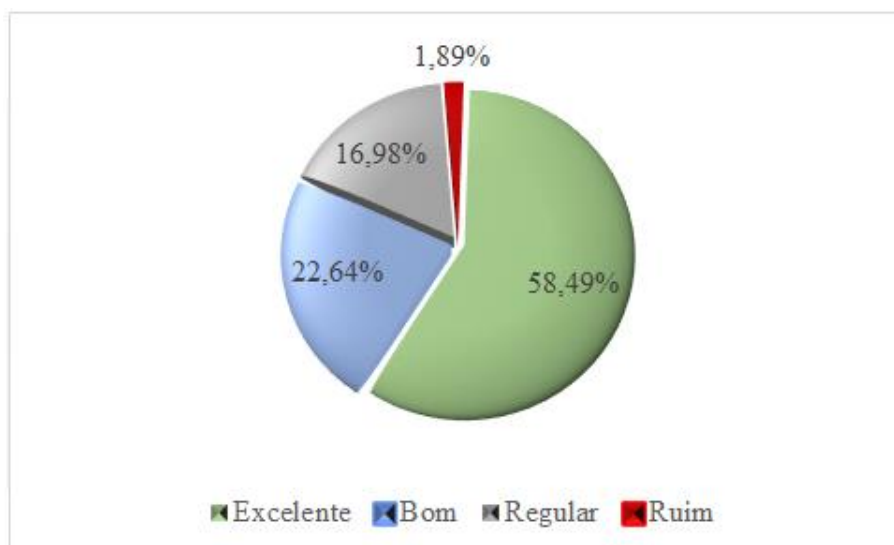
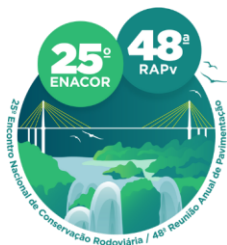


Figura 11. Resumo dos resultados do PCI - ZNC. Fonte: Future Motion Brasil (2023).



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

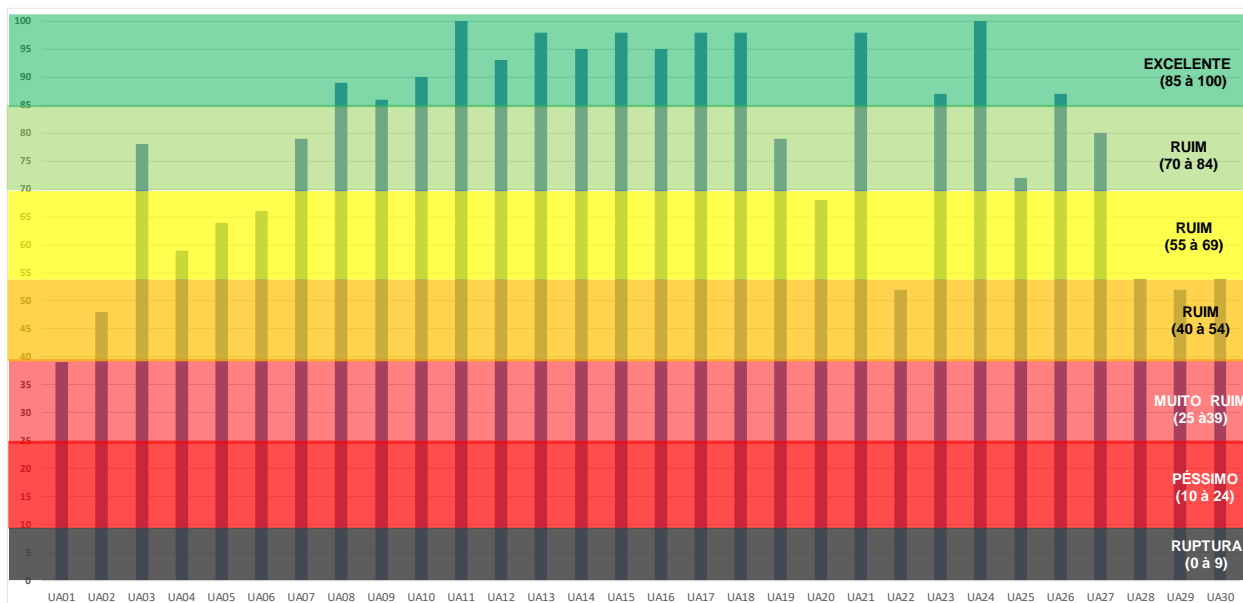


Figura 12. Gráfico dos resultados do PCI – P3 ZC. Fonte: Future Motion Brasil (2023).

Com relação ao P3 ZC, as condições de superfície em termos de defeitos são relativamente maiores pelo aspecto anteriormente ponderado. Assim, para o P3 ZC foram obtidas 50% das amostras com conceito “Excelente”, 16,67% de “Bom”, 13,33% de “Regular”, 16,67% de “Ruim” e 3,33% de “Muito Ruim”, conforme apresentado nas Figuras 12 e 13.

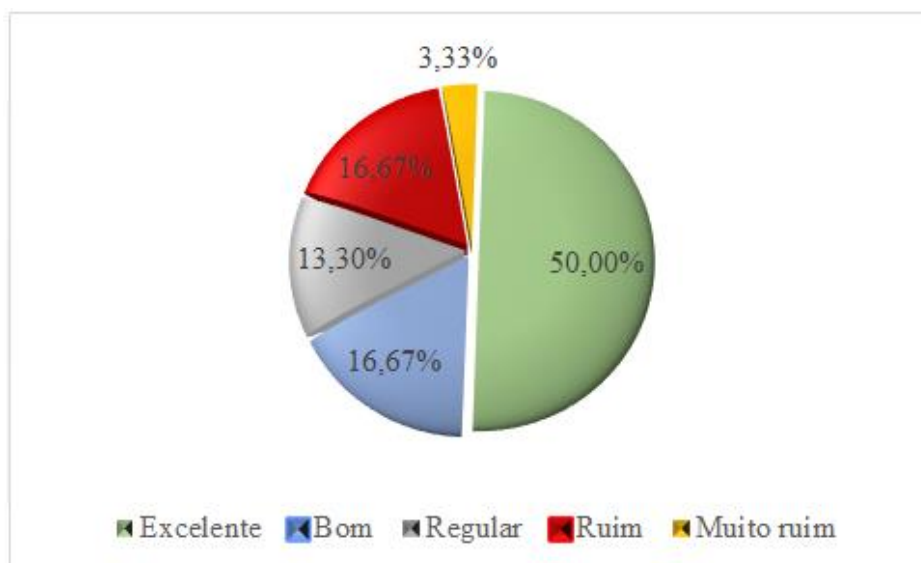
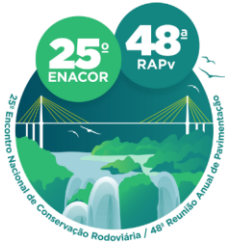


Figura 13. Resumo dos resultados do PCI - ZC. Fonte: Future Motion Brasil (2023).

A Figura 14 mostra o resultado do PCI por unidades amostrais.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)

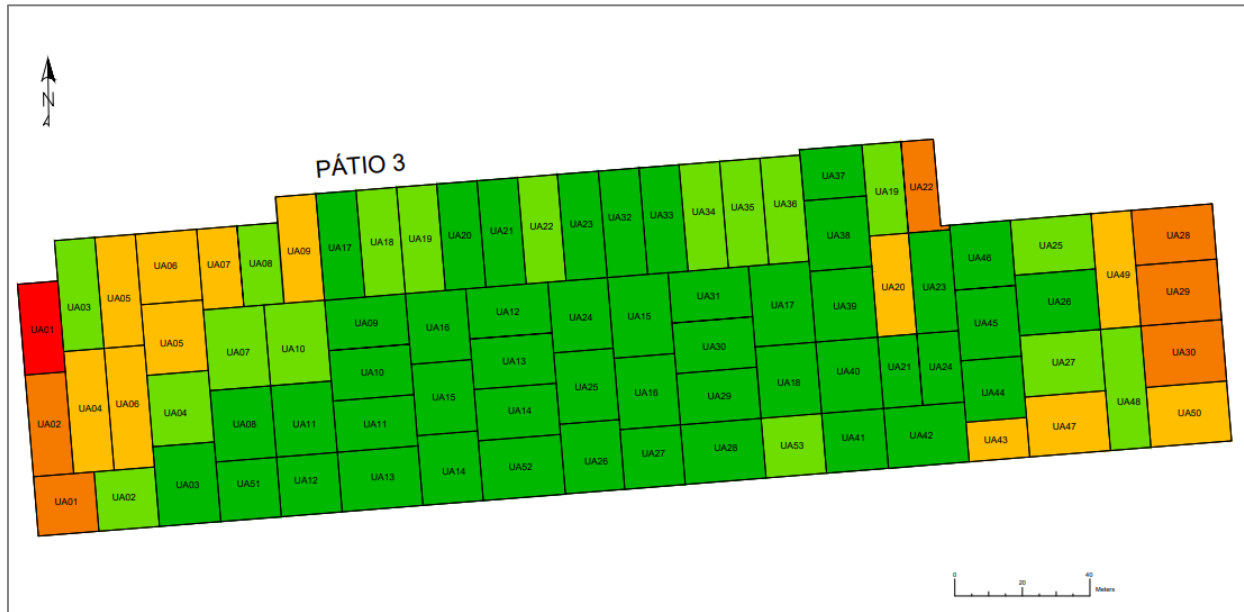


Figura 14. Resultado do PCI por Unidades Amostrais. Fonte: Future Motion Brasil (2023).

## CONCLUSÃO

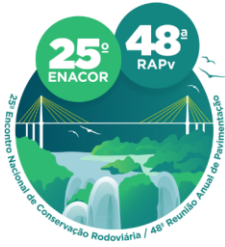
A importância da conservação de uma rede de pavimentos aeroportuários está diretamente associada à detecção de forma preditiva das deteriorações dos pavimentos, que por sua vez são caracterizadas por manifestações patológicas que emergem em suas superfícies.

A técnica utilizada a partir da utilização do Leica Pegasus: Two Ultimate se configurou como uma alternativa, auxiliando na obtenção de fotografias com excelente qualidade, que possibilitou a identificação dos defeitos de superfície de forma otimizada diminuindo sobremaneira os esforços humanos na catalogação e medições em campo para obtenção do PCI.

Para o Pátio 3 - ZC, 50% das amostras apresentaram conceito “Excelente” e para o Pátio 3- ZNC, que não está sujeito aos esforços das aeronaves, 58,49% das amostras mostraram conceito de “Excelente”. No geral, o pavimento do Pátio 3 mostrou condições funcionais satisfatórias, necessitando das seguintes operações de manutenção: recuperação de desgaste, recuperação de trincas, preenchimento de fissuras, substituição de material selante, reparo parcial e substituição de placa.

O ortomosaico obtido por meio do mapeamento dos defeitos oriundos da análise funcional realizada no Pátio 3 do Aeroporto Internacional de Brasília forneceu uma visão ampla da área para fins de tomada de decisões para as soluções de manutenção e reabilitação e, conseqüentemente, para o gerenciamento da rede.

Com o avanço da tecnologia, o monitoramento dos pavimentos se torna mais rápido e eficiente, sendo possível obter um banco de dados, que culmina em estratégias de manutenção e reabilitação com agilidade em pontos estratégicos para controlar a evolução das patologias.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR

[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANAC. (2017). Manual de Sistema de Gerenciamento de Pavimentos Aeroportuários – SGPA. Agência Nacional de Aviação Civil.

ASTM D5340-20: *Standard Test Method for Airport Pavement Condition Index Surveys*

Cordovil, R. M., Santos, A. B. V., Dagher, R. M. N., Moraes, H. G (2022). Estratégias de M&R com base em avaliações PCI no âmbito de um SGPA em rede de Aeroportos militares. 47ª Reunião Anual de Pavimentação/ 24º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Bento Gonçalves/RS.

FAA. (2014). *Airfield Pavement Surface Evaluation and Rating Manuals*. Advisory Circular (AC) N° 150/5320- 17A. Washington, D.C.: Federal Aviation Administration

Fernades, C. (2010). *Sistemas de Gestão de Pavimentos Aeroportuários - Caracterização e Aplicabilidade*. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Shahin, M. Y. *Pavement Management for Airports, Roads and Parking Lots*. 2ª Edição. Springer, 2005.

Scabello, D. T. (2018). Estudo sobre a Aplicabilidade de Inventário Funcional de Pavimentos Rígidos com o Emprego do Equipamento Pavement Scanner e Validação de Resultados. Escola Politécnica da USP: Departamento de Engenharia de Transportes (Dissertação de Mestrado). São Paulo/SP.

Maia, I. G.; Silva. B. Q; Prenholato. D. W. V; Collier. M. B. C. M. (2022) Uso da tecnologia mobile laser scanner para a análise da condição funcional de pavimentos. 47ª Reunião Anual de Pavimentação/ 24º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Bento Gonçalves/RS.