

19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br



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

### INDICADORES ESTRATÉGICOS COMO MODELO DE INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE PATOLOGÍAS EN PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

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

*Cecilia Arasy Cantero Núñez<sup>1</sup>; Noé Villegas Flores<sup>2</sup>; Diego Moraes Flores<sup>3</sup> & Juan Pablo Rubio Romero<sup>4</sup>*

#### RESUMEN

La construcción de un pavimento asfáltico se planifica para garantizar seguridad, confort y suavidad, resistiendo intemperies y cargas del tráfico. Una vía en óptimas condiciones proporciona un crecimiento económico y social, incrementando oportunidades de empleo, comercio y turismo. El desarrollo de modelos multicriterio en la inspección y la implementación de tecnología en el levantamiento de datos en la evaluación de las vías es innovador. Si bien existen modelos de inspección, estos no consideran la evaluación de múltiples criterios, lo que limita brindar una evaluación completa del pavimento, además, los métodos tradicionales de inspección pueden ser costosos y demorados. La propuesta de modelo de inspección de pavimentos flexibles desarrollado en este estudio considera múltiples criterios, además del uso de dispositivos electrónicos no tripulados y el registro fotográfico aéreo que permite una evaluación más rápida y exacta del pavimento con el fin de contribuir en la toma de decisión de la administración pública. El modelo desarrollado utiliza la teoría de decisión multicriterio, específicamente el análisis de valor jerárquico (AHP), considera tres requisitos de evaluación: confort, funcional y estructural, y diagnostica 15 (quince) patologías. A partir del modelo desarrollado se evaluaron 10 (diez) vías en Foz de Iguaçu (Brasil), posteriormente se obtiene el IDP (Índice de Deterioro Patológico), se realiza el procesamiento de los registros fotográficos de 4 (cuatro) vías urbanas que permite obtener representación en mapas georreferenciados mediante los sistemas de información geográfica (SIG), permitiendo una visualización más clara y objetiva de los puntos críticos del pavimento e identificando las áreas más necesitadas de intervención.

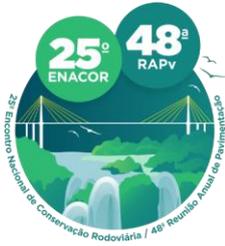
**PALAVRAS-CHAVE:** Pavimento; multicriterio; analytic hierarchy process (AHP); dispositivos electrónicos no tripulados (drones); sistemas de información geográfica (SIG).

#### ABSTRACT

The construction of an asphalt pavement is planned to guarantee safety, comfort and smoothness, resisting bad weather and traffic loads. A road in optimal conditions provides economic and social growth, increasing employment opportunities, trade and tourism. The development of multi-criteria models in the inspection and the implementation of technology in the collection of data in the evaluation of roads is innovative. Although there are inspection models, they do not consider the evaluation of multiple criteria, which limits providing a complete evaluation of the pavement, in addition, traditional inspection methods can be expensive and time consuming. The flexible pavement inspection model proposal developed in this study considers multiple criteria, in addition to the use of unmanned electronic devices and aerial photographic recording that allows a faster and more accurate evaluation of the pavement in order to contribute to decision making, of the public administration. The model developed uses the multicriteria decision theory, specifically the analysis of hierarchical value (AHP), considers three evaluation requirements: comfort, functional and structural, and diagnoses 15 (fifteen) pathologies. Based on the developed model, 10 (ten) roads were evaluated in Foz de Iguaçu (Brazil), subsequently the IDP (Pathological Deterioration Index) is obtained, in addition, the processing of the photographic records of 4 (four) urban roads that It allows obtaining representation on georeferenced maps through geographic information systems (GIS), allowing a clearer and more objective visualization of the critical points of the pavement and identifying the areas most in need of intervention.

**KEY WORDS:** Pavement; multicriteria; analytical hierarchy process (AHP); unmanned electronic devices (drones); geographic information systems (GIS).

<sup>1</sup> Universidad Federal da Integração Latinoamericana (UNILA), cac.nunez.2016@aluno.unila.edu.br; noe.flores@unila.edu.br; diego.flores@unila.edu.br; juan.romero@aluno.unila.edu.br.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

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



## INTRODUCCIÓN

La construcción de un pavimento está planificada con la finalidad de garantizar seguridad, suavidad y comodidad de tránsito a los usuarios (DE FIGUEIREDO; RODRIGUES; RIBAS, 2022). La estructura del pavimento consiste de varias capas sucesivas que trabajan en conjunto (RIBEIRO; BEZERRA; NETO PINHEIRO, 2017) y que, en la mayoría de los casos, están dispuestas por elementos como son: carpeta de rodamiento, base, sub base y subrasante (BENITEZ; INTRIAGO, 2020). La gestión de la infraestructura vial debe encontrarse en correctos escenarios para brindar crecimiento y desarrollo económico a una región. Esto se traduce en beneficios económicos, sociales, ambientales y un progreso significativo de los bienes patrimoniales (SILVA-BALAGUERA; LEGUIZAMÓN; VALIENTE, 2018; VALAREZO, 2018).

La evaluación del pavimento puede ser realizada desde el punto de vista estructural y funcional (GUILHERME et al., 2018). El seguimiento habitual del desempeño funcional y estructural de un pavimento es imprescindible dentro de un sistema de administración por la influencia directa en los costos de mantenimiento y conservación de la vía, costos operacionales, interrupciones de tráfico, accidentes, etc. (MACHADO; MARQUES; ROCHA, 2020).

En el Brasil las vías asfálticas sufren de una infraestructura decadente, baja calidad y poca extensión, dificultando el desarrollo del sector rodoviario (GUILHERME et al., 2018). Gran parte de los procedimientos de control de calidad de pavimentos no presentan muchas alternativas que sean viables para una toma de decisión acerca de la corrección a ser empleada (FERRI et al., 2017).

Bajo este contexto, este trabajo se plantea, por un lado, desarrollar una propuesta de modelo de inspección, así como también potenciar la utilización de herramientas tecnológicas, tales como los dispositivos electrónicos no tripulados en yuxtaposición del empleo de sistemas de información geográfica en virtud de su representación visual.

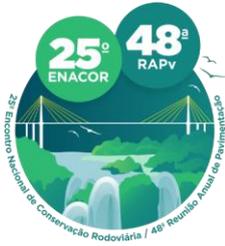
## ESTADO DEL CONOCIMIENTO

### Pavimentos Flexibles

De Almeida (2017) define el pavimento flexible como una superficie con revestimiento asfáltico y una capa de base granular, en la que la distribución de esfuerzos y deformaciones causadas a la estructura por las cargas de las ruedas del tráfico se produce de tal manera que las fuerzas verticales de compresión son mitigadas por el revestimiento y las capas en el subsuelo al "absorber" los esfuerzos cortantes.

El estado de deterioro y las condiciones del pavimento tienden a empeorar con el tiempo debido a las cargas del tráfico y las condiciones ambientales. El control de la calidad de la superficie urbana es importante no solo para ofrecer una experiencia más segura y cómoda, sino también para ayudar en la toma de decisiones con respecto al mantenimiento y planificación (CHUANG; PERNG; HAN, 2019).

### Movilidad Urbana



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

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



De acuerdo con De Paula y Bartelt (2016), la movilidad urbana se define como un conjunto de atributos de un sistema de transporte que permite el transporte de individuos o bienes de un lugar a otro y cuya calidad de eficiencia se evalúa en función de la velocidad y seguridad de flujo vehicular. En otros términos, la movilidad urbana hace referencia a la capacidad de las vías y medios de transportes de una ciudad en satisfacer las necesidades de desplazamiento de sus habitantes, garantizando una movilidad ágil, segura y sostenible.

La calidad de la movilidad urbana es afectada por la falta de recursos financieros del poder público destinados al mantenimiento de los pavimentos (OLIVEIRA; SALOMÃO; BARBOSA, 2022). La condición de la superficie del pavimento está directamente relacionada al desempeño del transporte y la economía del Brasil. Vías en deplorables condiciones aumentan los costos operacionales del transporte, disminuyen el confort y la seguridad de los usuarios y cargas, además de contribuir a la degradación del medioambiente (CNT, 2017).

### Fallas Superficiales

Las patologías de los pavimentos flexibles se pueden clasificar en defectos funcionales y estructurales. Una falla funcional es aquella que pone en peligro las buenas condiciones de conducción de la pista, es decir, la comodidad y seguridad del usuario con relación al deslizamiento. Un defecto estructural es aquel que amenaza la capacidad del pavimento para soportar las cargas causadas por el tráfico, es decir, la estructura del pavimento (DE CARVALHO et al., 2016).

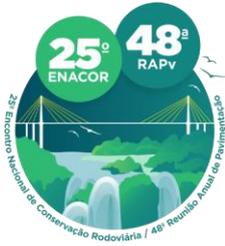
Recientemente, el comportamiento estructural de los pavimentos flexibles se ha visto comprometido por el incremento del flujo vehicular y el exceso de cargas, provocando un deterioro precoz y, a su vez aumentando los costos operacionales de los vehículos y de rehabilitación de la red vial (VALE; PAIS, 2017). Alrededor del 60% de la red vial brasileña tiene alguna manifestación patológica, es decir, fallas que afectan la parte superior e inferior del pavimento, causando daños a la estructura del eje viario (SILVA et al., 2021).

### Metodología Multicriterio – Proceso Analítico Jerárquico (AHP)

Tomar decisiones que engloban múltiples objetivos y la necesidad de atender a varios criterios como en el caso de gerenciamiento de pavimentos presenta una naturaleza compleja. Es en ese contexto que la aplicación del análisis de decisión multicriterio puede ofrecer un soporte en la toma de decisión, permitiendo la evaluación cuantitativa de diversas variables. El método multicriterio posibilita la integración de diferentes criterios en una evaluación global, que pondera la importancia de cada criterio en la decisión final (DABOUS et al., 2019).

El método Analytic Hierarchy Process (AHP) fue creado por Thomas Saaty en la década de 1980. Este método auxilia en la toma de decisiones, ayuda en situaciones donde existen varios criterios para analizar utilizando la comparación de datos en pares a través de una escala. Dentro de esta escala es posible representar la preferencia de un criterio frente al otro (NANTES, 2019).

Este método utiliza un proceso matemático para atribuir valores de importancia a diferentes criterios y opciones, mediante una matriz de comparación de pares. En esta matriz, cada elemento se compara con los demás del problema, ya sea criterio u opción, para determinar su importancia relativa. Luego se calcula el auto vector asignado al autovalor dominante para obtener una medida final de la importancia de cada criterio y opción (VALERA, 2015).



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

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



## Dispositivos electrónicos no tripulados

El avance de la tecnología ha propiciado el uso de nuevas técnicas de monitoreo, con la llegada de nuevos métodos de captura de imágenes ha evolucionado la supervisión de carreteras basada en imágenes, uno de los recursos más destacados es el empleo de dispositivos electrónicos no tripulados (DADRASJAVAN; ZARRINPANJEH; AMERI, 2019).

El uso de drones permite capturar imágenes de alta resolución en lapsos cortos de tiempo y con un costo menor que los métodos tradicionales (ROBERTS; INZERILLO; DI MINO, 2020). Son capaces de ofrecer imágenes de alta resolución en tiempo casi real, muchas veces a un costo menor que de las plataformas tripuladas en el aire o en el espacio (SCHNEBELE; TANYU; WATERS, 2015).

## Sistemas de Información Geográfica

Los Sistemas de Información Geográfica son un sistema de gestión de bases de datos diseñado para capturar, compilar, almacenar, recuperar, visualizar y analizar datos de información territorial, un SIG comprende lo que son datos georreferenciados y de atributos (HADIDI et al., 2016). Con aplicaciones en varios campos de la ingeniería y ciencias, la gestión de pavimentos viene a ser uno de los campos donde se utiliza el SIG (HO; LAI; ALMONNIEAY, 2016).

Las herramientas del sistema de información geográfica auxilian en el hallazgo de las deformaciones patológicas existentes en las vías urbanas con la ayuda de dispositivos electrónicos no tripulados, se pueden obtener imágenes que son transformadas en mapas de calor mediante programas computacionales. De esta manera es posible identificar la deformación de la vía y aplicar un índice desarrollado con base en la metodología multicriterio.

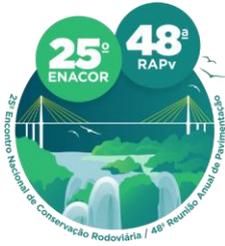
La aplicación de los SIG conlleva a la obtención de información de calidad y el uso de las herramientas georreferenciadas que se tienen al alcance con la finalidad de aplicar el índice desarrollado a lo largo de esta experiencia. Además, los SIG generan mapas y tablas que se pueden emplear para localizar las áreas que requieren mantenimiento (HO; LAI; ALMONNIEAY, 2016). Los registros territoriales georreferenciados se entienden como elementos que poseen de una descripción de ubicación, lo que implica una relación entre la orientación

## METODOLOGIA

### Caracterización Metodológica

Se ha desarrollado una herramienta que mida el nivel de deterioro de un pavimento flexible utilizando dispositivo electrónico no tripulado (Drone Mavic DJI) con un sobrevuelo a alturas de 20 metros. Además, se utilizaron Sistemas de Información Geográfica (SIG) como medio visual para la caracterización de los grados de deterioro, mediante la creación de mapas de calor para cada una de las manifestaciones patológicas.

Se eligieron tramos de vías de 500 metros de longitud para su análisis en este estudio. Esta longitud fue seleccionada para adquirir una cantidad considerable de datos. Totalizando 4 (cuatro) vías para levantamiento fotográfico aéreo y 10 (diez) vías para levantamiento de inspección visual en donde fue aplicada la herramienta metodológica en la ciudad de Foz do Iguaçu.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



## Construcción del modelo multicriterio

Para la construcción del modelo multicriterio se partió de la creación del árbol de requerimientos, construido para identificar las características y parámetros más relevantes dentro de la toma de decisiones, es fundamental identificar las condiciones que afectan a un determinado problema a partir de los requerimientos, criterios e indicadores para encontrar una solución adecuada. La definición de estos componentes permite tener un enfoque claro sobre lo que se necesita para abordar dicho problema, de manera efectiva y eficiente, lo que conduce a la búsqueda de soluciones viables.

La caracterización de las condiciones del problema constituye el primer paso para el desarrollo de una solución efectiva, teniendo en cuenta tanto las necesidades de la vía como la de los usuarios. La estructura del árbol de requerimientos en la Tabla 1 está diseñada de forma que el problema se integre en las necesidades y por lo tanto se pueda evaluar rigurosamente a través de criterios e indicadores.

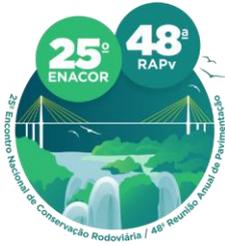
Tabla 1. Árbol de Requerimientos (AUTORA, 2023).

Requerimientos	Criterios	Indicadores	
<b>Confort</b>	Fisuras	1. Piel de cocodrilo 2. Fisura de bloque	
	Daños Superficiales	3. Pulimento del agregado	
<b>Funcional</b>	Fisuras	4. Fisura de borde 5. Fisura longitudinal 6. Fisura por reflexión de juntas 7. Fisura transversal	
	Baches y Parches	8. Parches	
	Deformaciones Superficiales	9. Ahuellamiento 10. Ondulación 11. Exudación	
	Otros daños	12. Afloramiento de finos	
	<b>Estructural</b>	Baches y Parches	13. Baches
		Daños Superficiales	14. Pérdida del agregado
Otros daños		15. Separación de la Berma	

Dentro de la estructura del árbol de requerimientos se encuentran los requerimientos confort, funcional y estructural, estos 3 requerimientos son fundamentales para garantizar la calidad y seguridad de la vía, ya que abordan aspectos relacionados con la seguridad del usuario y la condición de servicio de la carretera.

El requerimiento confort tiene como objetivo garantizar la máxima comodidad posible del usuario en su desplazamiento por la vía teniendo. El requerimiento funcional busca garantizar el desempeño funcional de la estructura del pavimento asegurando que cumpla con los requisitos necesarios para su uso. El requerimiento estructural se relaciona directamente con la durabilidad de la vía y seguridad de los usuarios, como con los costos operacionales de mantenimiento de vehículos y las inversiones en el reparo de las vías.

Se seleccionaron criterios específicos que cumplieran con los requerimientos establecidos y que abarcaran las deformaciones más frecuentes que se presentan en el pavimento asfáltico.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



La Tabla 2 muestra los valores de los pesos (indicados entre paréntesis) obtenidos a través del método de análisis jerárquico (AHP) para los requerimientos propuestos en este estudio. Se destaca que el requerimiento “Estructural” posee más de la mitad de la importancia en comparación con los otros dos requerimientos, confort y funcional, con un peso de 55%, mientras que estos dos últimos poseen un peso de 15% y 30% respectivamente.

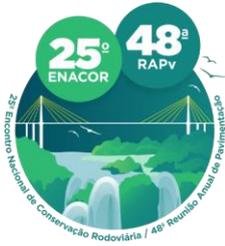
Tabla 2. Pesos de cada atributo evaluado para el estudio (AUTORA, 2023).

Requerimientos	Criterios	Indicadores
Confort (15%)	Fisuras (65%)	Piel de cocodrilo (35%)
		Fisura de bloque (65%)
Funcional (30%)	Daños superficiales (35%)	Pulimiento del agregado (100%)
		Fisuras (25%)
	Fisuras (25%)	Fisura de borde (20%)
		Fisura longitudinal (30%)
		Fisura por reflexión de juntas (25%)
		Fisura transversal (25%)
	Baches y Parches (30%)	Parches (100%)
	Deformaciones Superficiales (20%)	Ahuellamiento (35%)
		Ondulación (40%)
		Exudación (25%)
Otros daños (25%)	Afloramiento de finos (100%)	
Estructural (55%)	Baches y Parches (45%)	Baches (100%)
	Daños superficiales (20%)	Pérdida del agregado (100%)
	Otros daños (35%)	Separación de la Berma (100%)

## ESTUDIO DE CASO: FOZ DO IGUAÇU

El estudio se ha llevado a cabo en la ciudad de Foz de Iguazú, en el estado de Paraná (Brasil), y se han analizado un total de 15 manifestaciones patológicas que influyen directamente en la durabilidad del pavimento, la comodidad del tráfico y la seguridad del trayecto. Se seleccionaron tramos de carretera de 500 metros de longitud para su análisis, con el fin de recopilar una cantidad significativa de datos. En total, se analizaron 10 vías urbanas en la ciudad de Foz do Iguaçu utilizando esta herramienta en el levantamiento de inspección visual.

Se utilizaron dispositivos electrónicos no tripulados para inspeccionar 4 vías urbanas, con el objetivo de obtener información visual detallada sobre su estado actual. Los dispositivos volaron a una altura



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

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



de 20 metros con respecto al pavimento flexible para la obtención de fotografías aéreas como método de inspección visual. Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) para visualizar los niveles de deterioro, creando mapas de calor para cada tipo de problema encontrado.

### Etapa de campo

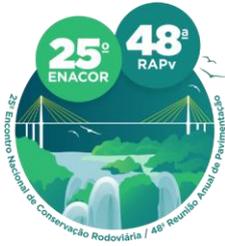
Las vías analizadas en el estudio cuentan con la siguiente delimitación geográfica, la Av. Gramado entre Av. Brodoski y Av. Andradina, la Av. Andradina entre Av. Gramado y Av. Araucária, la Av. Araucária entre Av. Andradina y Av. Garibaldi, la Av. Nacional entre Av. Rafagnin y Rua Ouro Preto, la Rua Guarujá entre Av. Gramado y Rua Barra Velha, la Av. Florianópolis entre Rua Fortaleza y Rua Belo Horizonte, la Av. Olímpico Rafagnin entre Av. Nacional y Rua Frederico Bernardo Z, la Rua Nilópolis entre Rua Garibaldi y Rua Poços de Caldas, la Rua Manaus entre Rua A y Rua C, y la Rua D entre Rua Florianópolis y Rua Vila Velha.

El levantamiento de datos fue realizado a partir de un cuestionario online en formato de aplicativo web desarrollado por la Autora. Este cuestionario consta de parámetros e imágenes que ayudan a recopilar información de manera eficiente. Cada parámetro está asociado con la asignación de pesos por grado de deterioro de la manifestación patológica.

Con la ficha de levantamiento de datos (ver Tabla 3) se consigue una evaluación detallada y sistemática del estado de las manifestaciones patológicas existentes en determinada vía urbana, la identificación de áreas afectadas con un alto nivel de deterioro permite planificar el mantenimiento y reparación de manera eficiente.

Tabla 3. Ficha de levantamiento de la Avenida Gramado (AUTORA, 2023).

VIA 1		
<b>Dirección:</b> Av. Gramado/ entre Av. Brodoski y Av. Andradina		
<b>Distancia analizada:</b> 0.5 km.		
<b>Hora inicio:</b> 11:15:00		
<b>Fecha:</b> 29-04-2023		
<b>Hora fin:</b> 11:42:00		
INDICADORES	VALORACIÓN	NIVEL
Piel de cocodrilo	15	Bajo
Fisuración en bloques	130	Alto
Pulimento del agregado	15	Bajo
Fisuración de borde	0	Bajo
Fisuración Longitudinal	0	Bajo
Fisuración por reflexión de juntas	0	Bajo
Fisuración Transversal	30	Medio
Parches	45	Alto
Ahuellamiento	0	Bajo
Ondulación	0	Bajo
Exudación	25	Bajo
Afloramiento de finos	25	Bajo



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

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



Baches	40	Alto
Pérdida del agregado	25	Bajo
Separación de la berma	0	Bajo

La evaluación cuantitativa del grado de deterioro a partir del uso de la ficha de levantamiento y la obtención de niveles de severidad de cada indicador en cada vía varían desde bajo hasta alto. Esta información es de utilidad para una toma de decisión de la administración pública, enfocándose en las vías que presentan niveles de severidad mayores.

### Uso de dispositivos electrónicos no tripulados

El dispositivo electrónico no tripulado Mavic Pro Combo Fly de la marca DJI realizó vuelos a una altura de 20 metros sobre la superficie del asfalto para tomar fotografías y recopilar datos para la inspección y detección de manifestaciones patológicas de 4 vías urbanas de la ciudad de Foz do Iguaçu: Avenida Gramado, Avenida Araucária, Avenida Florianópolis, Avenida Olímpico Rafagnin.

Con las imágenes aéreas obtenidas por medio del dron se ha realizado la construcción de un catálogo para representar las manifestaciones patológicas de las vías urbanas levantadas en la ciudad de Foz do Iguaçu. Cada vía designada para el vuelo generó entre 30 a 100 fotografías dependiendo del área de interés del estudio, enfocado a las diversas manifestaciones patológicas halladas en las vías, de las cuales fueron seleccionadas 2 fotografías por vía para realizar el análisis de las manifestaciones patológicas.

### ÍNDICE DE DETERIORO PATOLÓGICO (IDP)

El índice de deterioro patológico busca identificar la vía urbana que se encuentra con una mayor necesidad de intervención, ya sea con un mantenimiento o reparación en totalidad de esta, con el fin de prevenir o corregir daños mayores para garantizar la funcionalidad y seguridad de los usuarios.

La obtención del valor del Índice de deterioro patológico (IDP) consiste en la suma ponderada de los daños descubiertos en el levantamiento de la superficie asfáltica. Para esto se asigna un peso específico a cada tipo de manifestación patológica mediante el estudio metodológico desarrollado multiplicado con el nivel de severidad de la manifestación patológica identificada en el levantamiento de inspección visual. A continuación, se encuentra la expresión del Índice de deterioro patológico:

$$IDP = \sum_{i=1}^n (A_i * B_i + \dots + A_n * B_n) \quad (1)$$

Donde:

IDP= Índice de deterioro patológico.

$A_i$ = Peso de las manifestaciones patológicas.

$B_i$ = Nivel de intensidad del daño de la manifestación patológica.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
www.rapvenacor.com.br



Cada variable que compone la formación del índice cuenta con los parámetros adecuados para la asignación de un nivel de deterioro que pueda ayudar en la toma de decisión de la administración pública.

### Sistemas de Información Geográfica

Para representar las manifestaciones patológicas en los mapas producidos se creó una leyenda, de manera que pudieran ser identificadas durante el procesamiento. A cada patología se le asignó un color específico para mejorar su visualización durante la interpretación de resultados, tanto en la leyenda como en el procesamiento de los mapas (ver Figura 1).

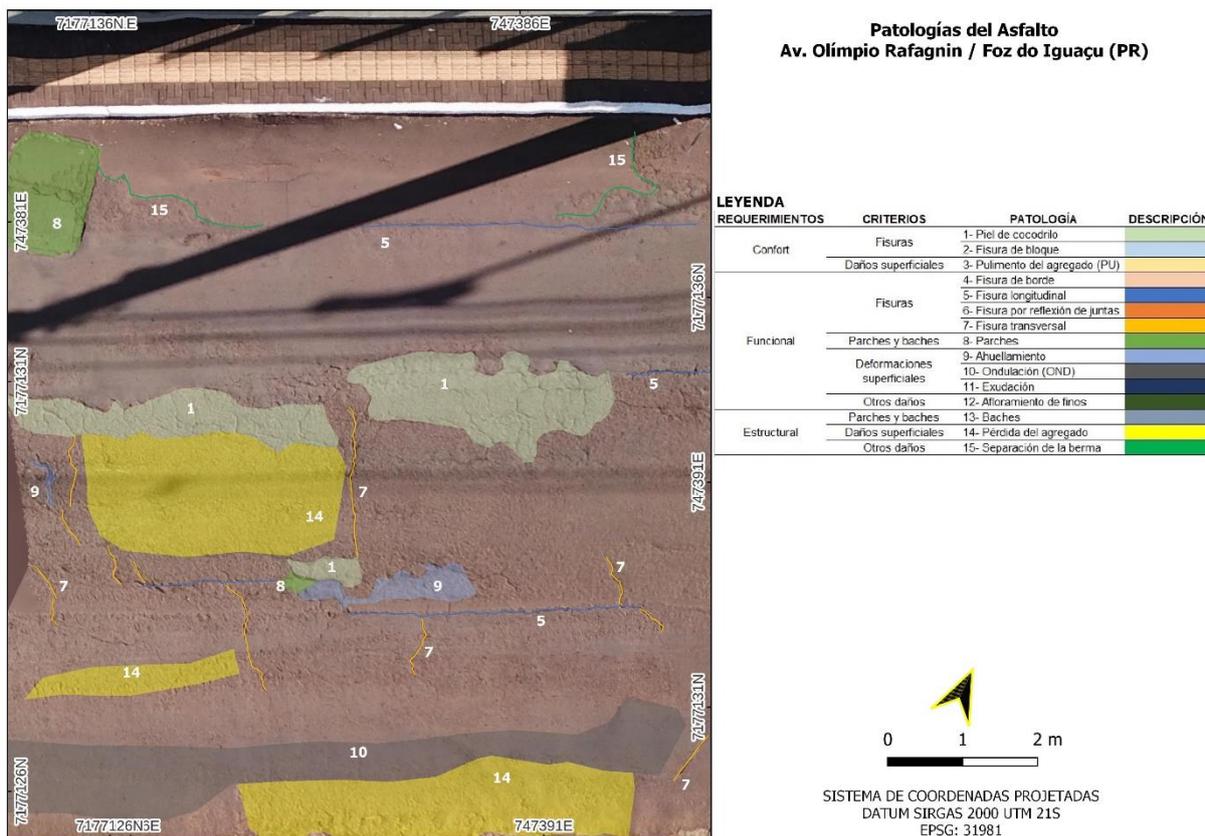
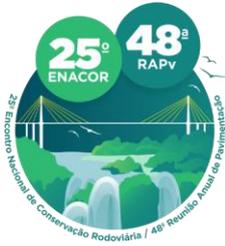


Figura 1. Mapa georreferenciado de la Avenida Olímpico Rafagnin (AUTORA, 2023).

### RESULTADOS

A través del cálculo del índice de deterioro patológico aplicando la Ecuación 1 y aplicando la herramienta metodológica implementada se ha obtenido un resultado que permite identificar la condición actual de las vías urbanas. Con el Índice de deterioro obtenido para las 10 vías urbanas en la ciudad de Foz do Iguaçu se genera el siguiente gráfico a modo de representación de los niveles de severidad obtenidos:



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabla 4. Índice de deterioro patológico final por vía urbana (AUTORA, 2023).

	Vías Urbanas	IDP	Nivel final
1	Avenida Gramado	29,05	Medio
2	Avenida Andradina	17,69	Bajo
3	Avenida Araucária	40,86	Alto
4	Avenida Nacional	22,12	Medio
5	Rua Guarujá	22,97	Medio
6	Avenida Florianópolis	50,14	Alto
7	Avenida Olímpico Rafagnin	63,20	Alto
8	Rua Nilópolis	7,92	Bajo
9	Rua Manaus	10,12	Bajo
10	Rua D	18,92	Bajo

Bajo	Medio	Alto
0 - 20	20 - 40	> 40

De acuerdo con los intervalos otorgados al nivel final de deterioro, se observa en la Figura 2 que existen 3 vías que presentan un deterioro notable, siendo la Avenida Olímpico Rafagnin la que posee un peso mayor, consecuentemente la Avenida Florianópolis y luego la Avenida Araucária, clasificando así en el nivel “alto”. Esto indica que es necesaria una intervención urgente de mantenimiento o reparación de estas vías.

Luego, se observa que la Avenida Gramado, Avenida Nacional y la Rua Guarujá se encuentran en un nivel final de deterioro “medio”. Por lo tanto, se requiere una intervención de mantenimiento preventivo para evitar que estas vías no alcancen un nivel de deterioro alto. Además, se observa que el resto de las vías urbanas se encuentran un nivel “bajo” de deterioro final, lo que indica que no requieren de una intervención de mantenimiento urgente.

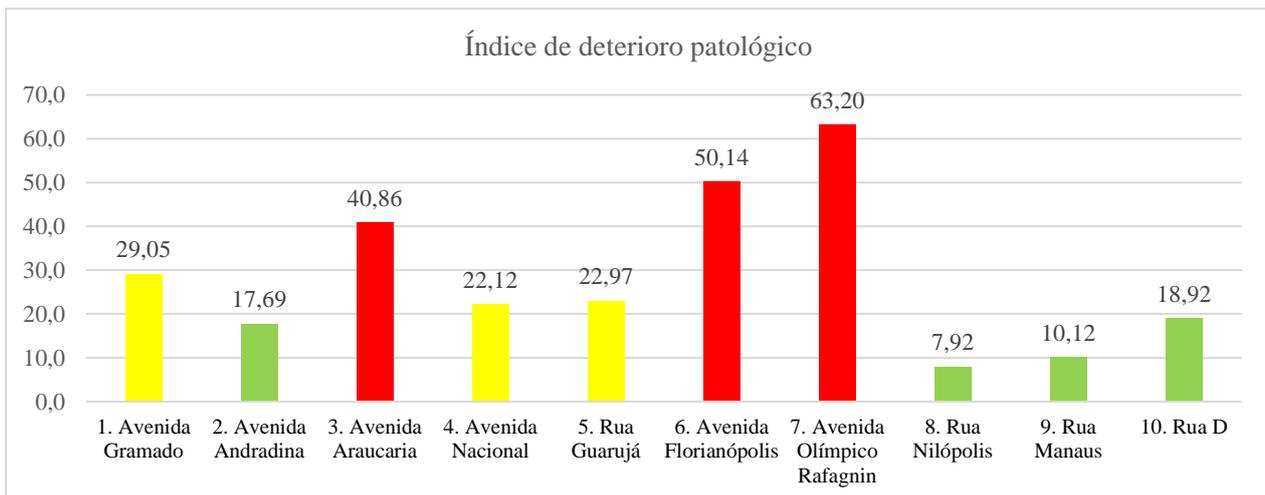




Figura 2. Índice de deterioro patológico para el estudio de caso en la ciudad de Foz do Iguaçu (AUTORA, 2023).

## CONCLUSIONES

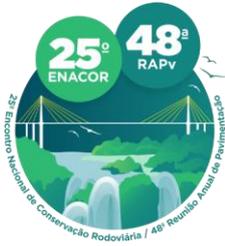
El objetivo principal de este trabajo de conclusión de curso fue desarrollar un modelo multicriterio de inspección para evaluar y medir deformaciones superficiales en pavimentos flexibles, con el fin de orientar acciones correctivas en la administración pública relacionadas con el mantenimiento y reparación de las vías asfaltadas. El modelo multicriterio permitió una evaluación precisa del estado actual del pavimento, mediante el cálculo de un índice de deterioro patológico que sirve como indicador de la urgencia de intervención o mantenimiento de una vía urbana.

La validación de la metodología se realizó mediante inspecciones visuales en 10 vías urbanas y el uso de dispositivos electrónicos no tripulados, como drones, para recopilar información sobre las manifestaciones patológicas en 4 vías de la ciudad de Foz do Iguaçu. La incorporación de los drones en la inspección resultó altamente beneficiosa, ya que permitió una mejor visualización de la expansión de las deformaciones y un registro más preciso en la superficie asfáltica. Además, la combinación de esta tecnología con los sistemas de información geográfica posibilitó la generación de mapas de calor georreferenciados, que muestran la ubicación exacta de las distintas manifestaciones patológicas encontradas.

Con base en los resultados obtenidos en las vías de estudio, se evaluó el índice de deterioro patológico en términos de requerimientos de confort, funcionalidad y estructura. Se identificó que las avenidas Florianópolis y Olímpico Rafagnin presentaron los mayores índices de deterioro patológico en términos de déficit de confort y funcionalidad, respectivamente. Además, ambas vías mostraron un mayor deterioro en el requerimiento estructural. Las demás vías evaluadas obtuvieron niveles de deterioro bajo y medio, lo que indica la posible necesidad de implementar un mantenimiento preventivo para evitar alcanzar niveles más altos de deterioro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENITEZ, D. D. A.; INTRIAGO, E. L. R. Comparative analysis of the deformation and strength of asphalt mixture with volcanic toba and traditional asphalt mixture. *Ciencia y Educación*, v. 2, n. 4, p. 6–29, 2020.
- CHUANG, T. Y.; PERNG, N. H.; HAN, J. Y. Pavement performance monitoring and anomaly recognition based on crowdsourcing spatiotemporal data. *Automation in Construction*, v. 106, n. February, p. 102882, 2019.
- CNT. Por que os pavimentos das rodovias do brasil não duram? *Confederação Nacional do Transporte*, p. 158, 2017.
- DABOUS, S. A. et al. Sustainability-informed multi-criteria decision support framework for ranking and prioritization of pavement sections. *Journal of Cleaner Production*, p. 118755, 2019
- DADRASJAVAN, F.; ZARRINPANJEH, N.; AMERI, A. Automatic Crack Detection of Road Pavement Based on Aerial UAV Imagery. n. July, p. 1–16, 2019.
- DE ALMEIDA, H. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXIVEIS NO BRASIL: COMPARATIVO ENTRE O MÉTODO DNER E MECANÍSTICO EMPIRICO - ME. Instituto de Pós Graduação - IPOG, p. 1–16, 2017.



19 a 22 de Setembro de 2023  
Foz do Iguaçu - PR  
[www.rapvenacor.com.br](http://www.rapvenacor.com.br)



DE CARVALHO, L. M. C. et al. PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM CORREDORES DE ÔNIBUS - TRECHO DA AVENIDA JOÃO PESSOA, FORTALEZA-CE. 2016

DE FIGUEIREDO, S. C. G.; RODRIGUES, F. DE A.; RIBAS, L. F. Saberes da Engenharia: Uma contribuição para a sociedade. Belo Horizonte-MG: Editora Poisson, 2022. v. 2

DE PAULA, M.; BARTELT, D. D. MOBILIDADE URBANA NO BRASIL: DESAFIOS E ALTERNATIVAS. Fundação H ed. Rio de Janeiro: [s.n.].

FERRI, S. et al. Proposição de metodologia para análise de risco em estruturas de pavimentos asfálticos flexíveis. Transportes, v. 25, n. 1, p. 93, 2017.

GUILHERME, D. D. P. et al. Avaliação Funcional Do Pavimento Flexível: Estudo De Caso - Trecho Da Rodovia Rn-016. Impacto das tecnologias na Engenharia Civil, 2018.

HADIDI, T. et al. Utilizing Geographic Information System as a Tool for Pavement Management System. International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computers, v. 4, p. 96–100, 2016.

HO, C. H.; LAI, C. P.; ALMONNIEAY, A. Using geographic information systems and smartphone-based vibration data to support decision making on pavement rehabilitation. Communications in Computer and Information Science, v. 610, n. 2, p. 475–485, 2016

MACHADO, T. F. DE O.; MARQUES, G. L. D. O.; ROCHA, M. L. Projeto de reforço para o pavimento flexível do anel viário da UFJF baseado no novo método de dimensionamento mecânico-empírico nacional. Transportes, v. 28, n. 1, p. 202–214, 2020.

NANTES, E. A. El Método Analytic Hierarchy Process Para La Toma De Decisiones: Repaso de la Metodología y Aplicaciones. Investigación Operativa, p. 54–73, 2019

OLIVEIRA, A. R. D. S.; SALOMÃO, M. A.; BARBOSA, M. T. Análise da Qualidade da Mobilidade e Acessibilidade Urbana do Transporte Coletivo na Cidade de Juiz de Fora - MG. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 15, n. June, p. 1447–1462, 2022.

RIBEIRO, A. J. A.; BEZERRA, F. R. D.; NETO PINHEIRO, J. C. Metodologia Prática de Avaliação de Patologias no Pavimento Asfáltico em Avenida de Fortaleza/CE. Conexões - Ciência e Tecnologia, v. 11, n. 6, p. 91, 2017.

ROBERTS, R.; INZERILLO, L.; DI MINO, G. Using uav based 3d modelling to provide smart monitoring of road pavement conditions. Information (Switzerland), v. 11, n. 12, p. 1–24, 2020.

SCHNEBELE, E.; TANYU, B. F.; WATERS, N. Review of remote sensing methodologies for pavement management and assessment. Eur. Transp. Res. Rev., 2015.

SILVA-BALAGUERA, A.; LEGUIZAMÓN, O. D.; VALIENTE, L. L. Gestión de pavimentos basado en Sistemas de Información geográfica (SIG): una revisión. Ingeniería Solidaria, v. 14, n. 26, 2018.

SILVA, H. T. DA et al. Study of pathologies on flexible floors in the city of Teófilo Otoni, Minas Gerais State, Brazil. Research, Society and Development, v. 10, n. 7, p. e59710716928, 2 jul. 2021.

VALE, A. C. DO; PAIS, J. C. AVALIAÇÃO DAS TENSÕES ATUANTES NA SUPERFÍCIE DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS CAUSADOS POR CARREGAMENTO PESADO Aline Colares do Vale Jorge Carvalho Pais. XXXI Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, 2017.

VALERA, J. M. Aplicación de las técnicas AHP, ANP-BC y ANP-BOCR de análisis multicriterio de decisiones a la selección de carteras de proyectos de mantenimiento, rehabilitación y mejora en infraestructuras ferroviarias. Tesis Doctoral—Valencia: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, 2015.