

BRASIL



CAMINOS RURALES UNA PUERTA AL DESARROLLO Y LA CONECTIVIDAD TERRITORIAL



**BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE**

Título:

Caminos rurales, una puerta al desarrollo y la conectividad territorial / Brasil

ISBN: 978-980-422-312-9

Editor: CAF

Vicepresidencia Corporativa de Programación Estratégica

Gerencia de Infraestructura Física y Transformación Digital

Mónica López

Yerko Eterovic

Autor:

Aislan Buhler

Dirección de Arte: Alejandro Maiocchi / www.maiocchipublicidad.es

La versión digital de este libro se encuentra en: scioteca.caf.com

© 2023 Corporación Andina de Fomento, todos los derechos reservados

Las ideas y planteamientos contenidos en la presente edición son de exclusiva responsabilidad de sus autores y no comprometen la posición oficial de CAF.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 2 PRESENTACIÓN DEL ESCENARIO Y POLÍTICA DE MANTENIMIENTO EN BRASIL	7
2.1 Políticas y legislación	12
2.2 Procedimientos normativos	13
CAPÍTULO 3 LA REALIDAD DE LOS CAMINOS RURALES EN BRASIL	15
3.1 Dimensionamiento de caminos rurales	19
3.2 Patologías en caminos rurales	22
3.3 Causas y acciones correctivas	30
3.4 Sistemas de drenaje	32
CAPÍTULO 4 EXPERIENCIAS Y SOLUCIONES DE INTERÉS	37
4.1 Revestimiento primario con suelo de grava	38
4.2 Pavimento con piedras	39
4.3 Suelos tropicales	42
4.3.1 Recomendaciones para caminos rurales	47
4.4 Residuos de construcción y demolición (RCD)	48
4.5 Residuo de la industria siderúrgica	51
4.6 Materiales fresados - RAP (<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>)	52
4.7 Tratamientos superficiales	54
CAPÍTULO 5 INICIATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS CAMINOS	61
5.1 Patrulla Rural	62
5.2 Mejor Camino	63
5.3 Caminos del Valle	64
5.4 Estudio Básico de Desarrollo Municipal (EBDM)	65
5.5 Patrulla Mecanizada - Bahia	66

CAPÍTULO 6	
EVALUACIÓN DE CAMINOS RURALES	68
6.1 Método <i>Road Condition Survey/ Detailed Visual Inspection</i> (RCS/DVI)	70
6.2 Método <i>Earth Road Condition Index</i> (ERCI)	71
6.3 Método <i>Unsurfaced Road Condition Index</i> (URCI)	72
CAPÍTULO 7	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En esta publicación exploraremos la complejidad y diversidad de los caminos rurales en Brasil. Este libro busca abordar, en profundidad y detalle, las mejores prácticas, estrategias y tecnologías aplicadas en la pavimentación y mantenimiento de estas vías esenciales para el desarrollo socioeconómico de nuestro país.

Cada capítulo abordará un tema específico, discutiendo los desafíos climáticos y las soluciones de pavimentación utilizadas para superar estos obstáculos. Compartiremos casos, experiencias y lecciones aprendidas de la realidad de Brasil.

Además, nos sumergiremos en las novedades técnicas y metodológicas que están revolucionando el campo de la pavimentación rural. Analizaremos, paso a paso, cómo la tecnología está permitiendo una mejor adaptación a las condiciones locales y aumentando la eficiencia y sostenibilidad de estos proyectos.

Este libro fue creado para ingenieros, técnicos, estudiantes y todos los profesionales del área que estén interesados en ampliar sus conocimientos y habilidades en el arte y la ciencia de la pavimentación de caminos rurales.

Un aspecto fundamental y muchas veces subestimado de la pavimentación de caminos rurales es su mantenimiento y conservación. El cuidado continuo de estas vías no solo asegura su funcionalidad en el tiempo, sino que protege la importante inversión que representa cada kilómetro pavimentado.

El correcto mantenimiento de estos caminos tiene un impacto directo y profundo en la calidad de vida de las poblaciones rurales. Al garantizar la transitabilidad de estas vías durante todo el año, se facilita el acceso a servicios esenciales como educación, salud y mercados. Un camino en buenas condiciones permite que los productos agrícolas lleguen a los mercados, los niños accedan a las escuelas incluso en días de lluvia y la asistencia médica esté accesible cuando más se necesita. **En otras palabras, un camino rural bien mantenido es un vínculo vital para conectar las comunidades rurales con el resto del país y el mundo.**

Este libro busca enfatizar la importancia de mantener y conservar los caminos rurales y brindar las herramientas y el conocimiento necesarios para asegurar su longevidad. Creemos que la inversión adecuada y oportuna en el mantenimiento de nuestros caminos rurales no es solo una decisión estratégica, sino también una obligación social y moral.



CAPÍTULO 2

PRESENTACIÓN DEL ESCENARIO Y POLÍTICA DE MANTENIMIENTO EN BRASIL

CAPÍTULO 2

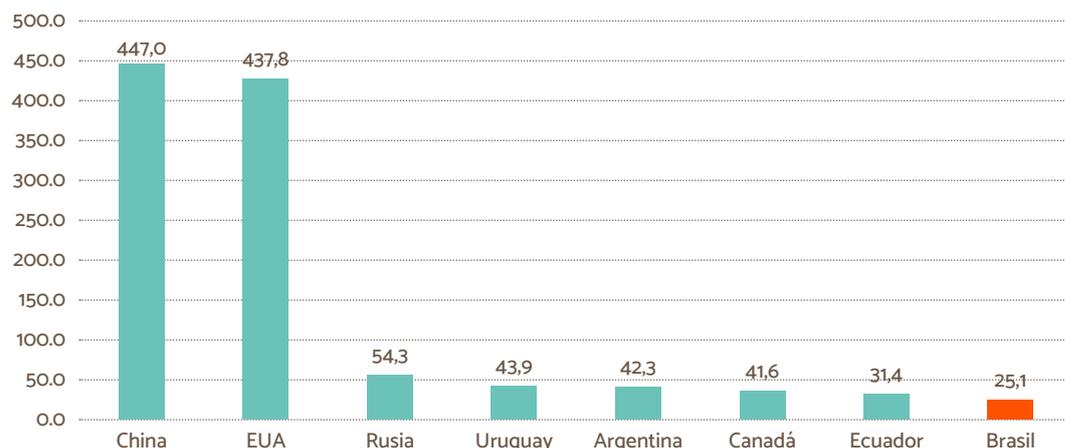
PRESENTACIÓN DEL ESCENARIO Y POLÍTICA DE MANTENIMIENTO EN BRASIL

Brasil es un país continental, con más de 8,5 millones de km² de superficie y el quinto en el mundo en área demográfica. La población estimada es de aproximadamente 200 millones de habitantes, con mayor concentración urbana cerca de los grandes centros urbanos (76%). Por otro lado, la mayoría de los municipios brasileños, aproximadamente el 60%, son predominantemente rurales y concentran sólo el 17% de la población (1). Cuanto más lejos de las regiones más desarrolladas del país, menor es la densidad de la red vial, así como la concentración de personas, lo que dificulta la accesibilidad. Por ejemplo, la región Norte tiene el 65% de los municipios rurales y el Nordeste, el 68,9%.

Uno de los principales factores del desequilibrio poblacional entre la ciudad y el campo, que se refleja en graves problemas socioeconómicos, y en el creciente éxodo rural, es la reducida oferta de vías pavimentadas al evaluar todo el territorio nacional. Si bien este criterio de densidad de la red vial no es uniforme en todo el país, representa una medida adecuada para comparar las condiciones de la infraestructura. La red brasileña es muy pequeña, especialmente cuando se la compara con países de similar extensión territorial, como China, Estados Unidos, Rusia y Canadá, pero la fragilidad es aún más evidente en relación con países latinoamericanos, como Uruguay, Argentina y Ecuador. (2) Figura 1.

FIGURA 1. DENSIDAD DE LA MALLA DE CAMINOS PAVIMENTADOS

DENSIDAD DE LA MALLA DE CAMINOS PAVIMENTADOS POR PAÍS (KM/MIL KM²)

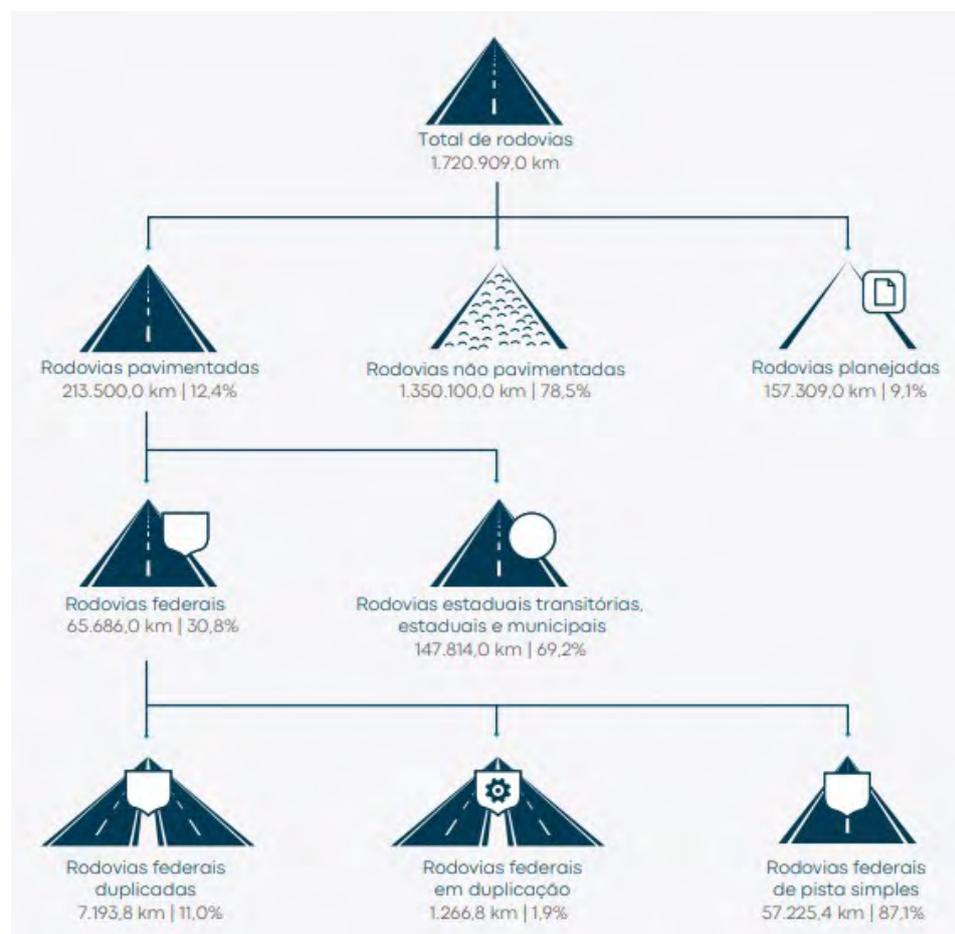


Fuente: Pesquisa CNT, 2022 (2).

El indicador de densidad vial muestra que Brasil tiene una red pobremente pavimentada, tanto en relación a su área total como en relación a otros países. Conociendo la heterogeneidad del país y la baja disponibilidad de modos de transporte, se evidencia que la red nacional es precaria y compuesta principalmente por caminos rurales sin asfaltar. Esta falta de disponibilidad de caminos y sus malas condiciones de conservación generan retrasos en el desarrollo y altos costos para un país continental que tiene más del 25% de su generación de ingresos concentrados en el flujo y exportación de cereales.

Investigaciones realizadas anualmente en Brasil por la Confederación Nacional de Transportes - CNT (2), con datos de 2022, muestran que Brasil tiene un total de 1.720.909 km de carreteras, de los cuales solo el 12% están pavimentados. Esto significaría que 1.507.409 km de vías se encuentran sin asfaltar. Este 88% de los caminos rurales no son elegibles para grandes inversiones y mantenimiento para su conservación, acciones fundamentales para garantizar las condiciones mínimas de acceso a escuelas, hospitales y ciudades.

FIGURA 2. COMPOSICIÓN DE LA MALLA BRASILEÑA



Fuente: Pesquisa CNT, 2022 (2).

Para el correcto mantenimiento de estos 88% de caminos no pavimentados, se deben crear políticas nacionales de mantenimiento y conservación, teniendo en cuenta que la gran mayoría de estos caminos rurales y forestales son la base del desarrollo socioeconómico de Brasil. Claramente, el país necesita administrar adecuadamente sus caminos rurales.

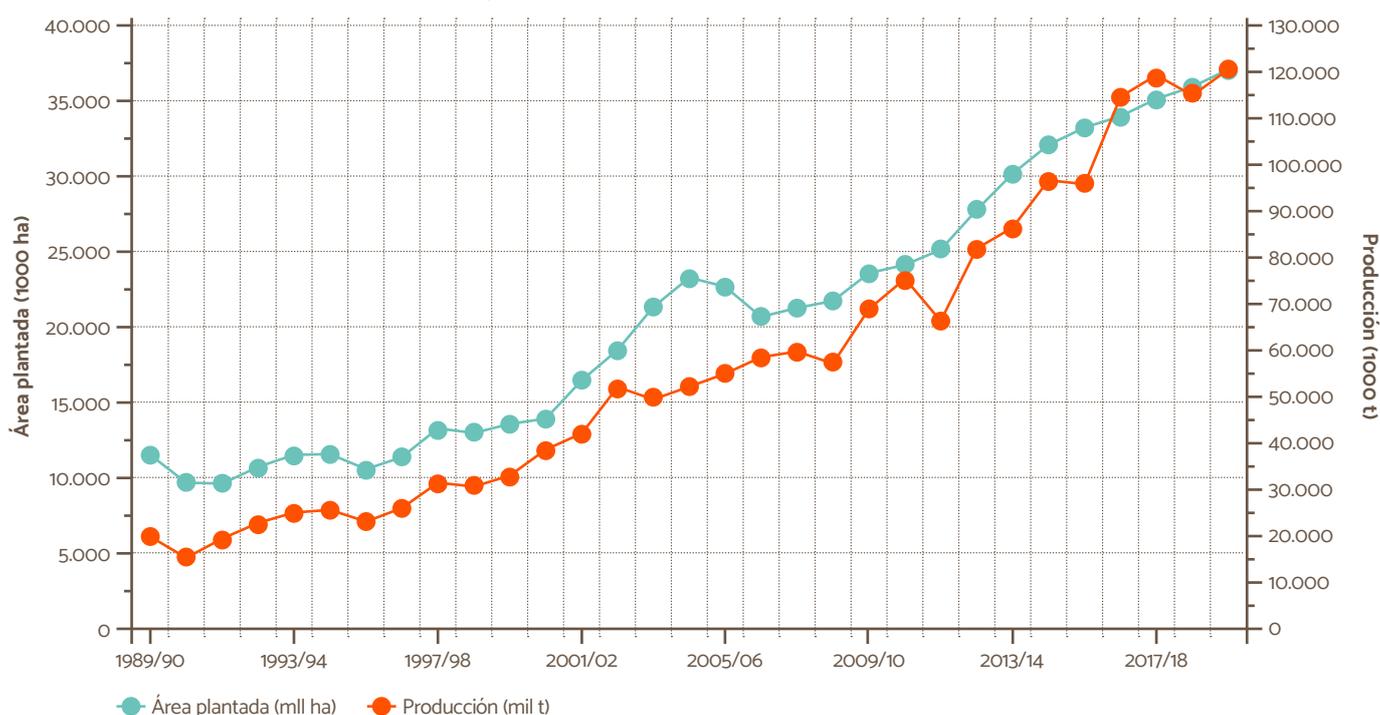
Por otro lado, más importante que pavimentar los caminos es mantenerlos en buen estado, ya que la inversión para la implementación de pavimentaciones asfálticas y su correcta conservación es elevada, más aún tratándose de una red de vías no pavimentadas.

La red no pavimentada administrada por el Ministerio de Infraestructura representa solo 10.400 km (3) y se encuentra en precarias condiciones. Las acciones federales son planeadas por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA), encargado de gestionar las políticas públicas para incentivar la agroindustria, un sector muy impactado tanto por las condiciones de acceso a la salud y educación, como por la dificultad para comercializar sus productos. Este hecho acentúa un gran problema social, ya que la población rural migra a las ciudades, pero sin preparación para ocupar puestos de trabajo. Por lo tanto, es crucial mejorar las condiciones de vida en el campo.

Actualmente, Brasil tiene la quinta mayor superficie agrícola, superado por India, Estados Unidos, China y Rusia. Sin embargo, Brasil es visto como el gran granero mundial. Produce en menos del 8% del territorio y alimenta aproximadamente al 10% de la población mundial, con énfasis en soja, carne, café, maíz, algodón, caña de azúcar y naranja. Según datos de Embrapa (4), es el país con mayor potencial de crecimiento en área agrícola. Asociado a este crecimiento, es muy importante que los caminos rurales también reciban inversiones y que las acciones que se realicen en ellos sean duraderas. Las Figuras 3 y 4 ilustran el mencionado crecimiento.

FIGURA 3. VISIÓN NACIONAL DE LA SOJA

ÁREA PLANTADA / PRODUCCIÓN NACIONAL

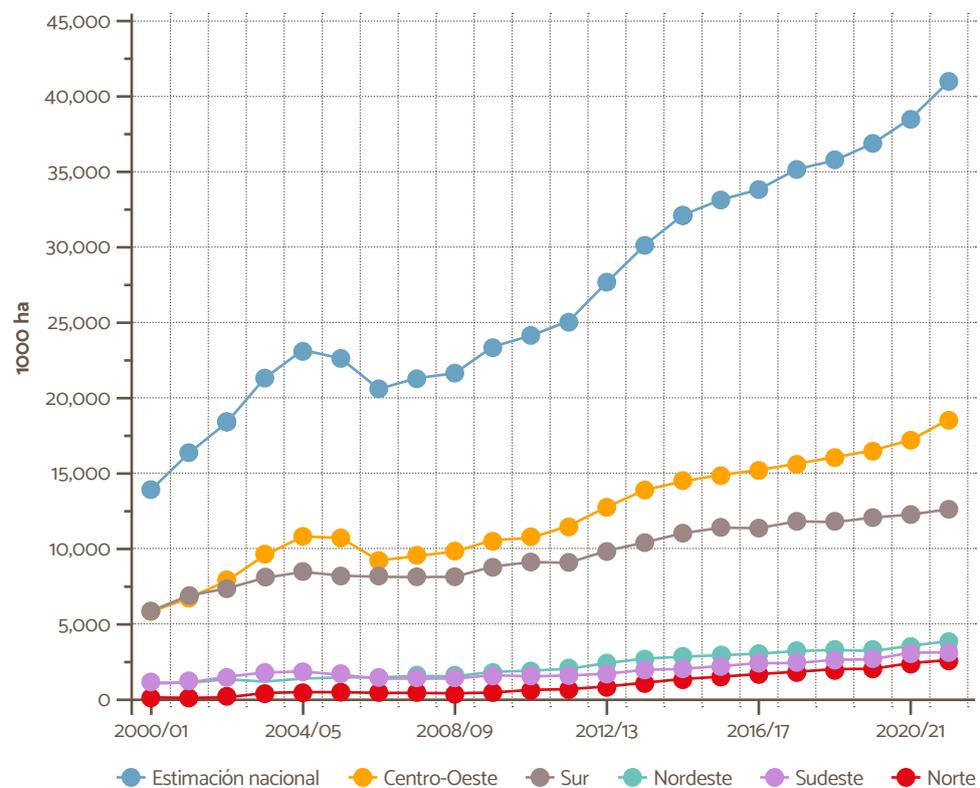


Fuente: Conab, 2022 (5).

Esta serie histórica representa la superficie sembrada y la producción de soja a lo largo del tiempo. Desde la cosecha de 2000, la superficie sembrada ha aumentado un 193%, mientras que la producción de cereales ha crecido un 323%. Con estos datos de la Empresa Nacional de Abastecimiento (CONAB), es evidente que Brasil es un país con vocación agrícola y que para la transporte de esa producción debemos aplicar las mejores técnicas de mantenimiento y conservación de nuestros caminos rurales.

FIGURA 4. VISIÓN REGIONAL DE LA SOJA

ÁREA PLANTADA POR REGIÓN



Fuente: Conab, 2022 (5).

Este análisis complementario muestra el crecimiento de las áreas cultivables por región, siendo los principales vectores de crecimiento el Centro, Sur y Norte del país, que requieren inversión y especial cuidado, tanto en la pequeña extensión de caminos pavimentados como en la necesidad de planificación y mantenimiento de caminos rurales. Teniendo en cuenta que este aumento de áreas conlleva un aumento en el volumen de tránsito de camiones grandes y personas, la seguridad y la accesibilidad cobran importancia para reducir los tiempos y distancias de viaje.

Por lo tanto, estados y municipios, estos últimos responsables de la mayor red de caminos rurales, adoptan individualmente sus propias estrategias de mantenimiento y conservación, que generalmente carecen de planificación y continuidad. La mayoría de ellas son actuaciones puntuales e ineficaces, que año tras año reflejan la dificultad de acceso a las ciudades, aumentando los costos socioeconómicos y las distancias y provocando pérdidas en los ámbitos de la salud, la educación, los gastos de alimentación y el mantenimiento de los vehículos y, por tanto, en el mantenimiento de las carreteras.

Una forma de reducir este impacto es la adopción de políticas de mantenimiento para la conservación de los caminos rurales.

2.1 POLÍTICAS Y LEGISLACIÓN

Las leyes y sus resoluciones son lineamientos que sustentan las políticas públicas, ya sea a nivel federal, estatal o municipal. Actualmente, la composición de la red vial nacional es predominantemente rural y no pavimentada, administrada en su mayoría por los municipios, en menor medida por los estados y sólo un 1%, aproximadamente, por el ámbito federal. En la práctica, no existe una norma específica -una directriz nacional- que ordene y oriente la gestión de estos caminos rurales. Cada municipio adopta sus propias definiciones, en algunos casos alineadas con las leyes provinciales y nacionales (5). Esta necesidad de políticas de mantenimiento para cada una de estas 27 unidades federativas es latente, pues existen 5,568 municipios con diferentes características y necesidades. Cada uno de ellos trabaja por separado, con diferentes políticas, leyes y procedimientos municipales. Sin embargo, existen algunas buenas prácticas, experiencias locales, manuales y especificaciones técnicas disponibles.

La mayoría de las acciones realizadas por los municipios están dirigidas a programas de mantenimiento de caminos pavimentados que sirven de conexión entre ciudades, conexiones con las principales carreteras, acciones de implementación, restauración e incluso señalización. En otras palabras, estos programas abarcan las principales vías de acceso de los municipios.

Hay varios programas en todo el país, con diferentes nomenclaturas. Entre ellos, el “Programa Estrada Legal” (6) en Bragança Paulista (SP), por ejemplo, y el “Programa Melhor Caminho”, del Departamento de Agricultura y Abastecimiento del Estado de São Paulo, establecido en 1997 para la preparación de convenios entre la Secretaría y las ciudades (7), entre otras acciones específicas realizadas para el control de la erosión, el desarrollo de la agricultura familiar y la reducción de la accidentalidad en los caminos rurales. Si bien estas acciones de los estados son meritorias, faltan reglas que garanticen la continuidad y planificación de las iniciativas a lo largo de los gobiernos.

Un camino interesante es la creación de Leyes Municipales que busquen garantizar la sistematización de las acciones de conservación en los caminos rurales. Entre esas experiencias, se puede mencionar el municipio de Lages, en la provincia de Santa Catarina. El municipio tiene planificado un programa de Gestión de Caminos Rurales, que abarca las más diversas disciplinas, a través de la Secretaría Municipal de Agricultura y Pesca. Así, desarrolló una política pública estructurada para llevar a cabo esta gestión, sustentada en pilares sólidos, tal como lo describen Savian et al. (8), incluyendo la creación de Leyes Municipales (9) y (10) que definieron los beneficios de la infraestructura activa. Así, a través de este sistema, el municipio priorizó la satisfacción de las necesidades de la población, atendiendo las demandas técnicas y sociales para el mantenimiento de los caminos rurales, teniendo en cuenta la creación de la normalización, la participación de la población para definir las prioridades sociales, los procedimientos técnicos para mantenimiento de vías, su registro en la base de datos y criterios de priorización.

2.2 PROCEDIMIENTOS NORMATIVOS

Los caminos rurales deben satisfacer la necesidad de las personas de trasladarse de sus predios a las comunidades para realizar sus actividades sociales y económicas. A lo largo de los años, con el aumento del tráfico, también se ha acelerado la ocurrencia de patologías, ya sea asociadas a condiciones inadecuadas de drenaje, condiciones de rodadura, condiciones geométricas, anchos de carril de rodadura y seguridad.

Las especificaciones nacionales son abundantes para caminos pavimentados, pero las recomendaciones son pocas cuando se trata de caminos de tierra. En esta perspectiva, se pueden citar algunas referencias:

- a. Especificaciones Técnicas de los Organismos Federales¹:
 - IPR 706 - Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais - 1999 - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER (11),
 - IPR 710 - Manual de Conservação Rodoviária - 2005 - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes DNIT (12),
- b. Especificaciones Técnicas de los Organismos Estatales de Carreteras (DER s):
 - Se utiliza como ejemplo el Manual del Estado de São Paulo (DER-SP) (13),
- c. Especificaciones particulares, internacionales y manuales:
 - Por ejemplo: Estradas Rurais: Técnicas Adequadas de Manutenção - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina - DER-SC (14),

¹ www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas

Estos manuales brindan recomendaciones sobre las características de los caminos rurales en cuanto a parámetros geométricos (ancho de carril y arcenes (banquinas), pendientes máximas, velocidades orientativas, radios, inclinación longitudinal), pero no incluyen el dimensionamiento de estos revestimientos.

Por ello, es importante presentar un resumen de las patologías más comunes y sus posibles medidas correctoras.

A close-up photograph of water splashing, with numerous droplets and ripples, set against a dark blue background. The water is in motion, creating a sense of freshness and energy.

CAPÍTULO 3

LA REALIDAD DE LOS CAMINOS RURALES EN BRASIL

CAPÍTULO 3

LA REALIDAD DE LOS CAMINOS RURALES EN BRASIL

Los caminos rurales se originaron esencialmente a partir de antiguos caminos y caminos originalmente construidos, los cuales sufrieron mejoras debido a la evolución de las comunidades y, fundamentalmente, al desarrollo. Baesso y Gonçaves (14) clasifican los caminos rurales según diferentes criterios:

a. Según su administración:

- Federales,
- Estaduales,
- Municipales,
- Privadas.

b. Según su función:

- Vías arteriales: la función principal es promover la fluidez,
- Caminos colectores: caminos que combinan funciones de flujo y acceso,
- Caminos vecinales: caminos cuya función principal es permitir el acceso.

c. Según sus características físicas:

- Pavimentado,
- Sin asfaltar,
- Carriles simples o dobles.

d. Según su norma técnica:

Se determinan a partir de parámetros tales como pendiente máxima, inclinación, radio de curvatura, anchos de carril, existencia o no de arcenes, revestimientos, entre otros.

En el caso particular de los caminos rurales, objeto de esta guía, se deben definir las clases de caminos y sus usos, a fin de asumir una clasificación estándar con sus respectivos anchos de carril, arcenes, velocidad y superficie, que son fundamentales para la planificación de medidas de conservación vial e inversiones.

Según el tipo de superficie de rodadura:

Categoría A: la superficie de rodadura está compuesta por agregados naturales y de yacimientos (gravas),

Categoría B - La superficie de rodadura está compuesta de materiales triturados,

Categoría C - La superficie de rodadura se compone de suelos naturalmente estabilizados (arcillosos),

Categoría D - La superficie de rodadura está compuesta por suelos naturales de su propio lecho.

En general, los caminos rurales se construyeron de manera intuitiva, evitando grandes costos de implementación, sin ningún estudio de planificación o ingeniería. Es decir, no se conocía la ocurrencia de suelos expansivos, blandos o erosivos. Con el paso del tiempo y la evolución del tránsito, estas vías fueron siendo más utilizadas, dando lugar a vías clasificadas en las categorías mencionadas anteriormente. Normalmente, esto eleva los costos de mantenimiento y conservación, sobre todo por sus precarias condiciones.

La asociación del aumento del volumen de tránsito (muy frecuente por el desarrollo agrícola), la dificultad para drenar el agua en épocas de lluvia y la capacidad de soporte de la estructura (revestimiento) son factores fundamentales para el deterioro de los caminos y la alta inversión para su mantenimiento. La Figura 5 muestra un camino rural en buen estado donde la falta de drenaje superficial provoca la formación de zonas de falla en la estructura en el borde debido a la saturación de capas y la aparición de agujeros.



Figura 5. Camino rural en el estado de Santa Catarina

Fuente: elaborado por el autor

Además, en otras condiciones de suelo, más expansivas, el camino sin ningún tipo de drenaje favorece la ocurrencia de deformaciones en presencia de agua (Figura 6). Para mitigar estas ocurrencias de manera económica, se deben realizar inversiones en drenaje y en una plataforma elevada de terraplén. En caso contrario, se deben implementar acciones de estabilización granulométrica, uso de geomallas, estabilización (cal o cemento) o incluso su remoción y reposición, todas estas soluciones de alto costo.



Figura 6. Camino rural con suelo expansivo

Fuente: elaborado por el autor

La Figura 6 ilustra la ocurrencia de baja capacidad de carga provocada por la presencia de agua y saturación del suelo.

El comportamiento de la estructura vial no pavimentada depende de la combinación de las características del tráfico, la acción del agua, el drenaje adecuado (sistemas de drenaje) y las características de la plataforma (terraplén). Por tanto, su vida útil está determinada por la aparición de defectos hasta un cierto nivel de deterioro aceptable en términos de rodamiento y seguridad.

Evidentemente, estos supuestos no se cumplen en la mayoría de las situaciones del país, y el mal mantenimiento de los caminos rurales es un factor importante en el empobrecimiento de las comunidades, la migración a las zonas urbanas, la pérdida de competitividad del sector agropecuario y la precaria disponibilidad de acceso a la educación y salud.

Algunas acciones menos costosas deben tomarse en el tiempo para preservar los caminos rurales, evitando que se vuelvan intransitables e inseguros, lo que implica costos de restauración altísimos. Desde un punto de vista económico, estas acciones en el tiempo permiten el mantenimiento del activo (carretera) a un bajo costo.

Por lo tanto, es necesario conocer las manifestaciones patológicas para comprender las acciones correctivas y de mantenimiento, considerando siempre la necesidad de hacer más efectivas las soluciones. Por otro lado, para vías de mayor tránsito es necesario implementar estructuras de pavimentación más robustas. Por lo tanto, se debe evaluar la pavimentación asfáltica o el revestimiento primario.

3.1 DIMENSIONAMIENTO DE CAMINOS RURALES

Los caminos rurales, al igual que los pavimentados, son estructuras construidas para soportar los esfuerzos, deformaciones de las cargas de tránsito, principalmente los esfuerzos normales generados por los vehículos comerciales (camiones). Esencialmente, toda la carga se convierte en un eje estándar con carga de 8,2 toneladas. En el caso de caminos de tierra, el efecto deletéreo de las tensiones verticales que generan deformaciones está altamente concentrado en las capas del suelo, ya que los recubrimientos primarios rara vez son el resultado de un diseño de ingeniería.

Así, la capacidad portante del subsuelo es un parámetro fundamental para la durabilidad de la estructura de la vía, estando siempre asociada a su comportamiento en presencia de agua. Sin embargo, como ya se mencionó, la mayoría de los caminos rurales no están pavimentados y, por lo tanto, no se incluyen en los modelos de diseño.

Los métodos de dimensionamiento nacional del DNIT (15) y las adecuaciones de organismo provinciales (DER's) se basan en la distribución de esfuerzos verticales en las diferentes capas de la estructura del pavimento, medidos por índice de capacidad portante, capas de refuerzo y sub-base, generalmente base granular y recubrimientos asfálticos. El tráfico se estima por el número de vehículos y su conversión en un eje de carretera estándar.

Este método se basa en los siguientes factores:

TABLA 1. CRITERIO DE TRÁFICO VERSUS ESPESOR MÍNIMO

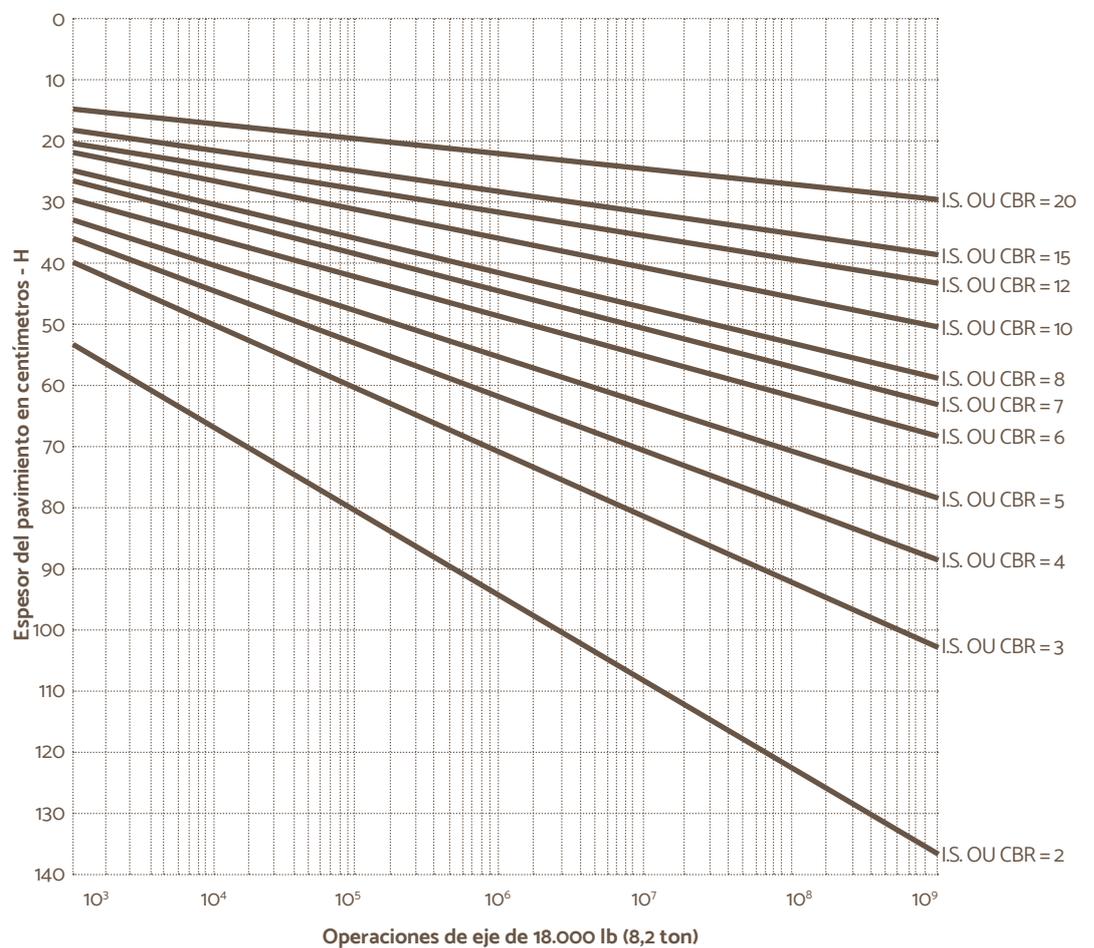
N	Espesor mínimo de revestimiento bituminoso
$N \leq 10^6$	Tratamientos superficiales bituminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimientos betuminosos con 5,0 cm de espesor
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto bituminoso con 7,5 cm de espesor
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto bituminoso con 10,0 de espesor
$N > 5 \times 10^7$	Concreto bituminoso con 12,5 cm de espesor

Fuente: Souza, 1981 (15)

El método considera que los caminos rurales con tráfico inferior a 1.000.000 de repeticiones del eje estándar requieren una sola capa de tratamiento superficial. Para caminos rurales de poco tráfico se pueden utilizar revestimientos primarios, estabilización de suelos, grava, entre otras técnicas de bajo costo.

El criterio de dimensionamiento de capas se basa en la definición del espesor total en función del tráfico y la capacidad de soporte (*California Bearing Ratio*). La figura 7 muestra el ábaco.

FIGURA 7. NÚMERO DE CORRELACIÓN N VERSUS CBR



Fuente: Souza, 1981 (15)

Así, la definición del paquete estructural determina la combinación de materiales y coeficientes para asumir el espesor total del proyecto, y cada material tiene factores de acuerdo a su resistencia, Tabla 2.

TABLA 2. COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA ESTRUCTURAL

Componentes del pavimento	Coefficiente k
Base o revestimiento de concreto bituminoso	2,0
Base o revestimiento pre-mezclado en caliente, de graduación densa	1,7
Base o revestimiento pre-mezclado en frío, de graduación densa	1,4
Base o revestimiento bituminoso por penetración	1,2
Capas granulares	1,0
Base o revestimiento bituminoso por penetración	1,2
Suelo cemento con resistencia a la compresión a 7 días, superior a 45 kg/cm	1,7
Idem, con resistencia a la compresión a 7 días, entre 45 kg/cm y 28 kg/cm	1,4
Idem, con resistencia a la compresión a 7 días, entre 28 kg/cm y 21 kg/cm	1,2

Fuente: Souza, 1981 (15)

Como se mostró anteriormente, estos criterios se aplican muy bien a los caminos que se van a pavimentar. Los caminos rurales generalmente se componen de suelos locales, mezclas de suelo y grava, y solo en situaciones específicas de revestimientos primarios.

En este sentido, en su manual, Baesso y Gonçalves (14) presentan una correlación desarrollada por el *South Dakota Department of Transportation* que asigna espesores de revestimiento primario con base en la resistencia del suelo (CBR) y el volumen de tráfico diario. Este método de la *Federal Highway Administration (FHWA)*, adoptado desde el año 2000, no incluye parámetros mecánicos (módulo de resiliencia) o parámetros de estacionalidad, pero establece un punto de partida muy importante para el diseño de caminos sin pavimentar.

TABLA 3. RELACIÓN CBR VERSUS VOLUMEN DE PESADO

ESPEORES MÍNIMOS SUGERIDOS PARA CAPAS DE REVESTIMIENTO PRIMARIO

Volumen estimado de Vehículos Pesados (VDM)	Condiciones de soporte del sublecho (CBR)	Espesor mínimo sugerido (cm)
0 a 5	CBR < 3%	16,5
	3% < CBR < 10%	14,0
	CBR > 10%	11,5
5 a 10	CBR < 3%	21,5
	3% < CBR < 10%	18,0
	CBR > 10%	14,0
10 a 25	CBR < 3%	29,0
	3% < CBR < 10%	23,0
	CBR > 10%	18,0
25 a 50	CBR < 3%	37,0
	3% < CBR < 10%	29,0
	CBR > 10%	21,5

Fuente: Skorseth y Selim, 2000 (16)

Muchas regiones de Brasil tienen suelos tropicales con alta capacidad portante (CBR), superior al 30%. En estas localidades, ciertamente se debe despreciar la correlación anterior, ya que son suelos con excelente comportamiento.

3.2 PATOLOGÍAS EN CAMINOS RURALES

El relevamiento de defectos observados en los pavimentos es protagonista en el análisis de estas estructuras de ingeniería, pues por su frecuencia de ocurrencia y severidad, está asociado a la evaluación de los mecanismos de deterioro que están actuando para este proceso de degradación y su expectativa de vida.

A través de su ocurrencia, severidad y velocidad de degradación, es posible alimentar métodos de evaluación de caminos, objetivos o subjetivos, y definir su estado real de deterioro e incluso la priorización de mantenimiento.

Si bien Brasil es esencialmente un país compuesto por caminos rurales, las metodologías de evaluación se desarrollan en los Estados Unidos. Prácticamente no se realiza un diagnóstico local, sino que se utilizan técnicas estandarizadas que deben optimizarse mediante un diagnóstico certero. Esto contribuye al muy bajo nivel de conocimiento de los ingenieros en esta área y la poca oferta de capacitación para profesionales enfocados en caminos rurales.

Tal como se presenta en el Manual DER-SC, Baesso y Gonçalves (14) señalan los defectos más frecuentes:

- sección transversal inadecuada,
- drenaje inadecuado,
- corrugaciones,
- exceso de polvo,
- agujeros,
- deformaciones plásticas (huellas de ruedas),
- pérdida de agregados.

Esta terminología se conoce popularmente en las zonas rurales con nombres más típicos como *“pinguela, costela de vaca, facão, lama e poeirão”*.

Independientemente de la nomenclatura adoptada, estos son los principales agentes de deterioro de los caminos rurales. Su intensidad y frecuencia alimentan metodologías de evaluación de defectos. La identificación de estas ocurrencias debe ayudar en la toma de decisiones sobre las acciones correctivas a adoptar.

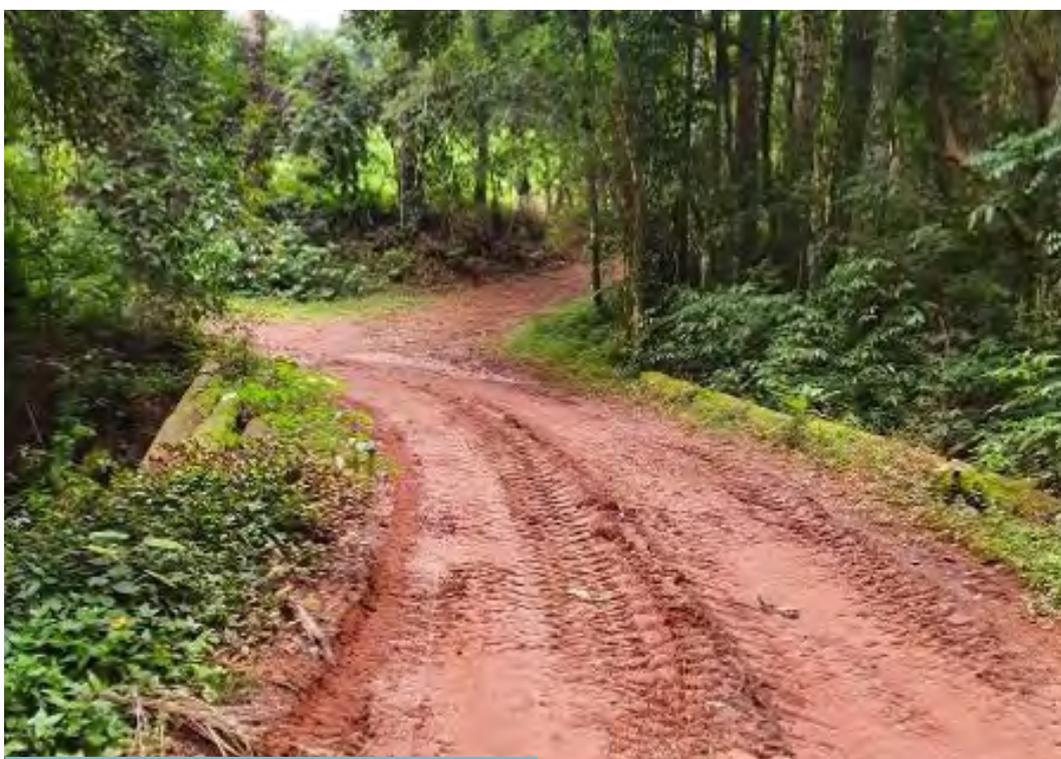


Figura 8. Sección transversal sin peralte

Fuente: elaborado por el autor

La sección transversal, cuando es inadecuada, generalmente se debe a la falta de peralte y pendiente para el flujo de agua. Siempre que sea posible, se deben evitar los tramos enterrados/encajados (más bajos que el perfil de la traza de la ruta), ya que generan acumulación de agua sobre la plataforma rodante, factor que acelera el deterioro.

El tramo longitudinal de rampa en perfil encajado provoca la acumulación de agua en la calzada, canalizando el paso del tráfico. Por lo tanto, la combinación de defectos aumenta la gravedad de los problemas en los caminos rurales y la necesidad de acciones correctivas.

El trabajo de Baesso y Gonçalves (14) presenta un ejemplo de este caso en la Figura 9.



Figura 9. Problemas en la plataforma encajada

Fuente: Baesso y Gonçalves, 2003 (14)

Más evidente es la situación que se muestra en la Figura 9, donde el tramo de carretera está enterrado, lo que significa que toda el agua queda retenida en la plataforma. Además de la influencia de la calidad del suelo, cuanto más se corta la sección transversal, mayor es la tendencia a que aparezcan suelos más pobres. Una regla básica para los caminos rurales es que deben estar nivelados o por encima del suelo existente, y se deben evitar las excavaciones. Esto reduce los problemas de resistencia, drenaje y la estabilidad de la banquina.

El problema del drenaje inadecuado es común y se debe a la acumulación de agua en la vía por falla o falta de la misma. De esta forma, el agua se acumula provocando agujeros, debilidades o incluso creando zanjas en la vía para encontrar una salida. Figura 10.



Figura 10. Drenaje inadecuado

Fuente: elaborado por el autor

Para los caminos rurales, la plataforma debe estar protegida de la acción del agua, que, junto con el tráfico intenso, provoca graves daños en el pavimento. La Figura 11 muestra este efecto sobre un pavimento con piedras.



Figura 11. Drenaje inadecuado y plataforma estrecha

Fuente: elaborado por el autor

Esta acumulación de agua en la vía es un severo generador de baches, huellas de ruedas (futuros atolladeros) y dificultad en la circulación del tráfico. Por tanto, una adecuada prevención es fundamental para la buena conservación del camino rural y, sin duda, esta actuación preventiva redundaría en una buena economía. En esta imagen también se observa que la falta de limpieza impide el escurrimiento del agua. También es posible ver como se ignoran las restricciones de la traza, con la construcción de edificaciones llegando muy próximas a la pista.

Las corrugaciones u ondulaciones son irregularidades transversales que se producen en el revestimiento y que provocan molestias a los usuarios. Sus causas son diversas, desde alto tránsito, bajo soporte de la subrasante, hasta la presencia de agregados que son transportados por el agua o se disipan en períodos de sequía y falta de peralte. La Figura 12 muestra un ejemplo.

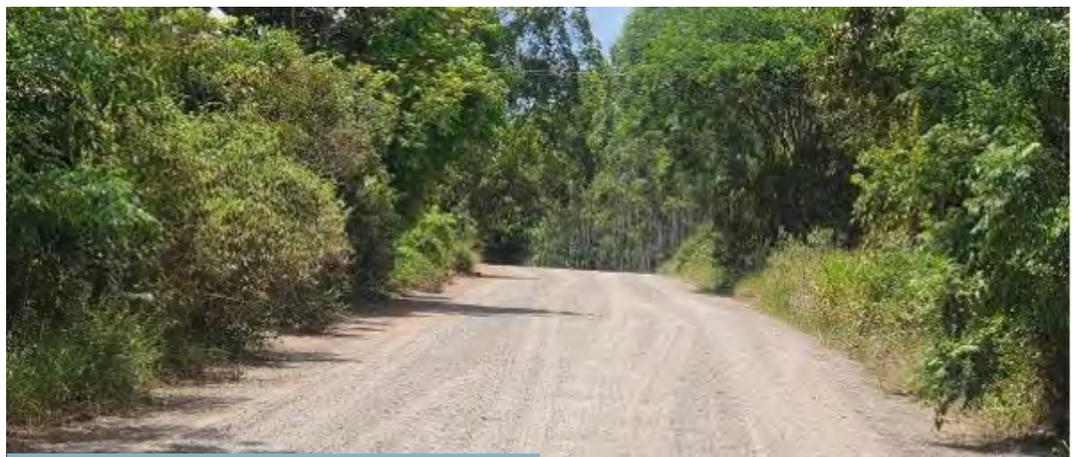


Figura 12. Corrugaciones o irregularidades en caminos rurales

Fuente: elaborado por el autor

La corrección de estas ondulaciones generalmente depende del tipo de suelo, pero requiere el uso de equipos pesados (niveladora y rodillo compactador) para regularizar el revestimiento o incluso estabilizar el suelo y/o grava para garantizar una mayor comodidad al rodar. Los costos de esta corrección son más altos, pero este defecto influye mucho en el tiempo de viaje y la comodidad.

La generación de polvo es consecuencia de capas de materiales finos, normalmente en exceso. Esta patología es una de las más agresivas porque no puede considerarse simplemente como una nube de polvo. Sus daños están relacionados con la seguridad (causando accidentes), la salud humana y animal (enfermedades inflamatorias y alérgicas), la agricultura (cultivos de alimentos nocivos), la economía (deterioro en la durabilidad de vehículos y equipos) y también contribuyen a las ondulaciones y deslizamientos por acumulación de materiales finos en la superficie. Su aparición es muy común en suelos arenosos y lateríticos y en épocas de sequía. La figura 13 presenta un ejemplo.



Figura 13. Generación de polvo

Fuente: elaborado por el autor

Baesso y Gonçalves (14) sugieren que la formación de polvo depende del volumen de tráfico, la velocidad de los vehículos y la granulometría del suelo (Figura 14). Una de las soluciones para su corrección es el uso de estabilizadores químicos con cloruro de calcio y cloruro de magnesio, y lignosulfatos. También se aplican estabilizaciones con piedra triturada o grava.



Figura 14. Formación de polvo

Fuente: elaborado por el autor

La aparición de agujeros u ollas resulta de la combinación de estas patologías mencionadas o de su aparición aislada. Su baja o alta severidad definirá la necesidad de acciones específicas o de gran envergadura. En tramos con gran concentración de huecos, se debe regularizar la capa de subrasante existente, reponer o compactar el material, requiriendo muchas veces la inclusión de revestimientos primarios para resistir los esfuerzos del tráfico.

Cuando están aislados, deben ser corregidos con prontitud, considerando que esta patología es la más grave en términos de daños a los vehículos, tiempo de viaje y condiciones de conducción. La figura 15 presenta una ilustración del defecto.



Figura 15. Formación de agujeros

Fuente: elaborado por el autor

Los surcos o huellas de ruedas en los caminos rurales están asociados con una baja capacidad de soporte de la subrasante, generalmente en presencia de agua. Estas deformaciones se producen con el paso del tráfico, especialmente cuando las condiciones de drenaje no son las adecuadas y se asocian a puntos de baja velocidad. Su acumulación puede hacer intransitable el camino, generando frecuentemente lodazales. La Figura 16 ilustra el problema.



Figura 16. Formación de lodazales

Fuente: elaborado por el autor

Las acciones correctivas dependen mucho de los suelos encontrados y su resistencia en presencia de agua. En casos más sencillos, la corrección se puede realizar con drenaje y regularización del suelo. En situaciones de mayor acumulación de tráfico se pueden realizar estabilizaciones granulométricas y aplicación de revestimientos primarios, e incluso en casos más críticos es necesario remover y reponer suelos o incluso reforzarlos con geomallas. Sin embargo, cualquiera de estas técnicas debe incluir una reparación del sistema de drenaje.

La pérdida de agregados es consecuencia del volumen de tráfico y de la velocidad de funcionamiento de la vía. Estos generan el desprendimiento del recubrimiento y su deterioro. La reposición de estos materiales, la nivelación y el mantenimiento con reparaciones localizadas son soluciones de bajo costo que evitan la formación de huecos y su posterior empeoramiento durante la ocurrencia de lluvias (Figura 17).



Figura 17. Pérdida de agregados

Fuente: elaborado por el autor

Todas estas patologías definen la necesidad de acciones correctivas, asociando siempre factores de resistencia del suelo, tráfico y condiciones ambientales. Su correcta combinación da como resultado correctas técnicas de mantenimiento y conservación y adecuados proyectos de caminos rurales.

3.3 CAUSAS Y ACCIONES CORRECTIVAS

Las patologías encontradas en los caminos rurales son recurrentes y se dan por la poca capacidad de soporte de la subrasante, el tránsito y su exposición al agua. También resultan de la falta de acciones de conservación de la traza y de la pista, que normalmente generan malas condiciones de la superficie.

Muchas de estas patologías son fáciles de identificar y resolver. La siguiente tabla muestra algunas acciones correctivas sugeridas tomadas en Brasil.

TABLA 4. ACCIONES CORRECTIVAS

Patología	Causa	Acción correctiva
Ondulaciones / irregularidades	La baja resistencia del suelo o la falta de drenaje hacen que el agua se acumule o se filtre en la calzada y promueva la pérdida de agregados.	Mejoras en el sistema de drenaje (flujo de agua). Corrección aislada de puntos de baja capacidad con reposición de terreno. Ejecución de refuerzo de la capa soporte, ya sea por punzonado o por capa de revestimiento.
Lodazales	Aparición de agua en la subrasante o en los puntos bajos de la plataforma, generando deformaciones.	Implementación de sistema de drenaje profundo. Reconstrucciones parciales de la subrasante.
Formación de polvo	Se produce por exceso de material suelto (fino) que se deposita en la banda de rodadura. Se da en periodos de sequía y por la acción del tránsito pesado.	Ejecución de revestimiento primario o estabilización química de la capa.
Pista resbaladiza	Exceso de humedad en suelos arcillosos. Generan problemas de seguridad vial y de circulación de vehículos, especialmente en rampas.	Ejecución de revestimiento primario.
Segregación	Eliminación de áridos sueltos en la pista de rodadura.	Mezcla de material existente con inserción de arcilla o capa de revestimiento primario.
Erosión	Este es el problema más grave en los caminos rurales. Cuando estos caminos interrumpen el curso natural del agua, se pueden generar importantes procesos de erosión.	Los servicios de drenaje deben llevarse a cabo para organizar adecuadamente el flujo del agua desde su origen hasta su destino apropiado. Estos pueden ser servicios de alto costo, que involucran trabajos geotécnicos, y también pueden incluir obras preventivas.
Agujeros / ollas	Tienen muchas causas, que van desde la ausencia de una capa de revestimiento primario, la ausencia de partículas aglutinantes, la plataforma de la carretera mal drenada y la falta de peraltes transversales.	Estas correcciones van desde correcciones puntuales de bacheo hasta el uso de equipos pesados como motoniveladoras y rodillos para rehacer la capa.
Hundimientos plásticos	Las deformaciones son causadas por la mala calidad del suelo de la subrasante, la falta de revestimiento primario y la sobrecarga de tráfico asociada. No se descartan problemas de drenaje.	Las soluciones deben tomarse de manera inmediata, que van desde una simple nivelación de la capa, pasando por casos que requieren una capa de revestimiento y llegando a acciones aún más costosas, con reconstrucción parcial de las estructuras.
Pérdida de agregados	Las causas de este problema son múltiples, pero necesariamente pasan por la ausencia de cohesión de los materiales.	Las soluciones típicas son el alisado de la capa de rodadura, la corrección con fracciones de materiales de cohesión, hasta la sustitución completa de la capa.

Fuente: elaborado por el autor

Estos problemas mencionados son los más comunes y su recurrencia afecta la durabilidad de los caminos y la calidad de vida de la población. Por lo tanto, lo ideal es una acción preventiva, evitando que se produzcan.

Desarrollar un buen diseño, un adecuado programa de conservación, una correcta orientación del tráfico y una señalización eficaz no garantiza, por sí solo, un buen rendimiento. Si se descuida el drenaje del agua, seguramente se producirán problemas en la plataforma del camino y también en el entorno del camino rural.

3.4 SISTEMAS DE DRENAJE

La planificación del drenaje es un factor relevante para el diseño de un camino rural. Por muy buena que sea la solución de pavimentación, seguramente tendrá comprometida su plataforma con las primeras lluvias si no se contempla esta disciplina. Por lo tanto, se deben considerar inversiones en elementos de drenaje claramente eficientes, que normalmente tienen costos bajos.

Los dispositivos de drenaje deben atender la necesidad de una rápida evacuación de las aguas superficiales sin generar inundaciones en las zonas aledañas, erosión en los taludes y su permanencia en la plataforma de la pista. Son elementos fundamentales para el buen funcionamiento de la vía y su bajo coste de mantenimiento:

- Clima,
- Topografía,
- Geología,
- Estudio de las características del suelo.

La mala conducción del agua afecta la usabilidad de las carreteras. Cuando esta se acumula o permanece en la superficie de la carretera, aparecen depresiones y surcos con la acción del tráfico. Si el agua no se elimina de su lecho, puede causar erosión y formación de surcos en la capa de rodaje. De forma práctica, Baesso y Gonçalves (14) sintetizan los principios básicos más importantes para obtener un buen drenaje en los caminos rurales:

- a. Desarrollar, siempre que sea posible, trazados cercanos a los divisores de aguas,
- b. Quitar toda el agua de la vía sin dañar el camino o su estructura, tan pronto como sea posible,
- c. Reducir la velocidad del agua, así como la distancia que debe recorrer,
- d. Utilizar drenaje transversal, cuando sea necesario, por ejemplo, alcantarillas,

- e. Adoptar preferentemente plataformas con anchos y alturas de cortes y terraplenes, que produzcan un mínimo de perturbaciones,
- f. Evitar la construcción de caminos rurales en zonas húmedas, inestables o con fuertes pendientes,
- g. Retirar las aguas subterráneas, cuando sea necesario, en el caso de tramos de caminos en cortes donde el tránsito esté compuesto por vehículos pesados,
- h. Preservar la vegetación natural de cortes y terraplenes, entre otras áreas sensibles a procesos de erosión,
- i. Mantener la plataforma más alta que el terreno natural siempre que sea posible.

A continuación se presentan las principales acciones de drenaje utilizadas, tales como drenaje superficial, corriente y profunda.

Los elementos de drenaje superficial más habituales son las cunetas, alcantarillas, zanjas, disipadores de energías y cajas de acumulación de agua.

Un ejemplo, en una vía secundaria muy innovadora, fue la ejecución de una capa de microrrevestimiento asfáltico en frío ejecutada sobre el suelo local compactado, con buena pendiente en la plataforma, cunetas de hormigón y caja de almacenamiento de agua.



Figura 18. Sistema de drenaje superficial adecuado

Fuente: elaborado por el autor

En el siguiente caso, existe una conexión entre un camino rural y un camino de conexión que no cumple con los requisitos de geometría. La precariedad del drenaje superficial provoca que el agua escurra sobre la plataforma de la calzada asfaltada, provocando graves problemas de seguridad y riesgo de aquaplaning en periodos de lluvia.



Figura 19. Sistema de drenaje superficial inexistente

Fuente: elaborado por el autor

La ejecución de alcantarillas (bigodes en portugués) inhibe la aparición de acumulación de agua y la formación de lodazales. La necesidad de implementarlas se puede ver a continuación. La segunda imagen muestra que, de la misma manera, la propia comunidad puede adoptar soluciones más rudimentarias para desviar el agua de la plataforma.



Figura 20. Sistema de drenaje superficial inadecuado

Fuente: elaborado por el autor

La siguiente figura muestra una buena práctica de drenaje y seguridad, ya que además de crear una buena pendiente, eliminando posibles puntos de acumulación de agua, se preservó la cobertura vegetal. Esta es una buena práctica de bajo costo que reduce en gran medida la necesidad de costos de mantenimiento. No obstante, la siega debe realizarse de forma continua, para que no sea un elemento que retenga el agua en la superficie en lugar de favorecer su flujo.

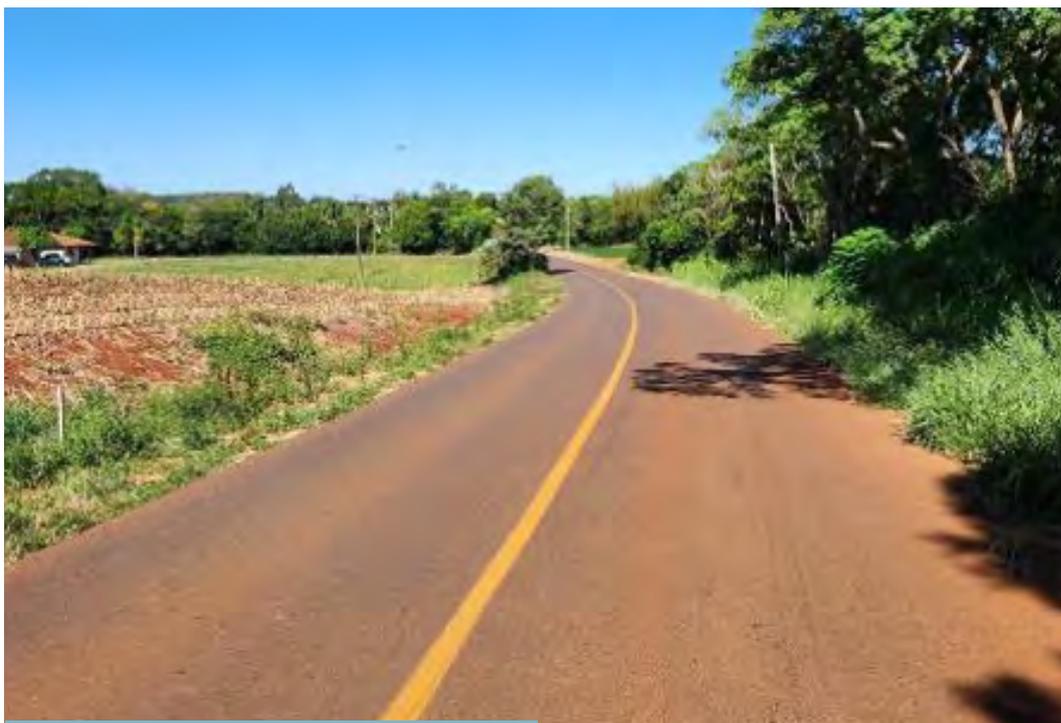


Figura 21. Buenas prácticas

Fuente: elaborado por el autor

En muchas regiones de Brasil ocurren períodos de lluvias concentradas e intensas, lo que hace necesaria la creación de receptáculos hidrográficos o cajas de acumulación como medida de protección. Estas cuencas evitan la erosión, la sedimentación e incluso el uso agrícola de esta agua.



Figura 22. Cuencas hidrográficas o “barraginhas” (pequeñas represas)

Fuente: Agencia Nacional del Agua – ANA, 2028 (17)

La importancia del drenaje para la evacuación del flujo de agua requiere la construcción de alcantarillas, obras de arte e incluso disipadores de energía. En este sentido, es fundamental reducir la velocidad del agua y alejarla de la carretera.



Figura 23. Inspección de drenaje

Fuente: elaborado por el autor

Las acciones de mantenimiento y conservación son fundamentales para el correcto funcionamiento de los drenajes, por lo que su inspección y mantenimiento limpios y despejados son premisas básicas.



CAPÍTULO 4

EXPERIENCIAS
Y SOLUCIONES
DE INTERÉS

CAPÍTULO 4

EXPERIENCIAS

La mayoría de los caminos rurales se gestionan con recursos municipales, que por lo general son bastante limitados. En este capítulo se describen algunas alternativas interesantes como soluciones que pueden ser adaptadas y replicadas por otros municipios.

4.1 REVESTIMIENTO PRIMARIO CON PIEDRA PARTIDA

La municipalidad de Assis Chateaubriand, en el oeste de Paraná, municipio de aproximadamente 34.000 habitantes y con mucha actividad agrícola, adoptó técnicas para mejorar la plataforma de los caminos con correcciones de peralte y regularización de la capa, y a continuación revestimiento primario con piedra partida. Esta solución para mejorar las condiciones de tránsito en sus caminos rurales les permite una buena circulación, tanto en invierno como en verano.



Figura 24. Revestimiento primario con piedra triturada

Fuente: Jornal do Oeste, 2021 (18)

Estos servicios fueron realizados a través de un convenio financiero entre Itaipú Binacional y sus propios recursos. Según informó la administración local, los resultados son satisfactorios y la técnica ya se ha utilizado en aproximadamente 20 km de caminos rurales. Abajo, la imagen de una sección en servicio, con desempeño satisfactorio para la comunidad.



Figura 25. Revestimiento de piedra partida

Fuente: Jornal do Oeste, 2021 (19)

4.2 PAVIMENTACIÓN CON PIEDRAS

Algunos municipios con gran disponibilidad de piedra basáltica utilizan esta técnica de pavimentación en caminos rurales como una forma de promover una mejor calidad vial en las principales conexiones entre las ciudades y las comunidades rurales importantes. La siguiente figura muestra dos municipios distintos.



Figura 26. Revestimiento con piedras irregulares

Fuente: elaborado por el autor

Esta técnica consiste en tener una fundación con buena capacidad portante (California Bearing ratio mayor al 5%) y baja expansión (menor al 2%). Sobre la base se aplica una capa de arcilla o arena de 15 a 20 cm de espesor, y sobre ella se colocan manualmente las piedras (de 10 a 20 cm de espesor) de piedra basáltica (de 4 a 8 caras), distribuidas uniformemente, sin desintegración y descomposición. A continuación, se aplica una capa de 3 cm de polvo de piedra para el relleno y posterior compresión con rodillos.

Esta solución, con el tiempo y la acumulación de tráfico, tiende a crear un cierto nivel de incomodidad para el usuario, especialmente si se descuida el drenaje y el mantenimiento. Los municipios buscan, como medida de mantenimiento, su pavimentación con capa asfáltica directamente sobre las piedras (con un espesor de 3 a 5 centímetros). La siguiente figura muestra un caso.



Figura 27. Restauración sobre piedras

Fuente: elaborado por el autor

Esta técnica de restauración de pavimentos de piedra con capas asfálticas tiene varios puntos a discutir, ya que la aplicación directa de un espesor asfáltico de 3 o 4 centímetros suele ser de corta duración, debido al mapeo de irregularidades donde los bloques están sueltos, y en regiones con presencia de agua. Por otro lado, generan mejores condiciones de rodadura y flujo de tráfico. De esta forma, lo ideal es diseñar un pavimento adecuado, con una capa de piedra y luego una capa asfáltica duradera.

La siguiente figura muestra un trabajo de implantación de pavimentos en caminos rurales y la construcción de dispositivos de drenaje.



Figura 28. Implementación de caminos rurales

Fuente: Eng. Cristian Ticiani

Además, en los caminos rurales se deben insertar señales y reductores de velocidad para que no ocurran accidentes vehiculares y peatonales, ya que la tendencia es que los conductores circulen a mayor velocidad. Deben proporcionarse banquetas (arcenes) para que la comunidad transite con seguridad e implementar sistemas de drenaje adecuados. De lo contrario, esta acción de pavimentación tendrá una baja durabilidad y será un generador de problemas.



Figura 29. Capa de asfalto sobre piedras

Fuente: elaborado por el autor

La Figura 29 muestra los primeros problemas en la pavimentación de un camino rural donde se aplicó una capa de asfalto directamente sobre las piedras. Estos problemas se generaron por la falta de cuidado en la aplicación de la mezcla asfáltica. La vía puede volverse más segura con la implementación de banquetas (arcenes), facilitando el tránsito de personas, y con refuerzo de señalización para mejorar la visibilidad.

4.3 SUELOS TROPICALES

Los suelos típicos de las regiones tropicales están directamente asociados con el concepto de pavimentos de bajo costo en Brasil. Mucho se debe a los esfuerzos y experiencias de varios años de estudios, investigaciones y tramos experimentales originados en el estado de São Paulo, y por sus técnicos. En este proceso, destacamos la creación de metodologías propias para clasificar y reconocer estos materiales y su buen comportamiento estructural como base y sub-base de pavimentos de bajo tránsito.

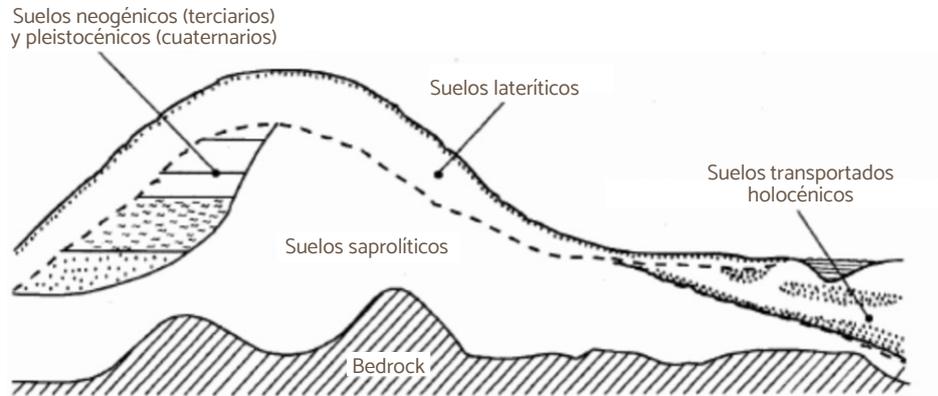
Nogami y Villibor (20) definen los suelos tropicales como aquellos que presentan un comportamiento y peculiaridades resultantes de la realización de procesos geológicos y/o pedológicos propios de las regiones tropicales húmedas. Así, para que un suelo sea considerado tropical, no basta que se haya formado en regiones de clima tropical húmedo. Debe presentar peculiaridades de interés geotécnico, es decir, materiales con alta resistencia y presencia de laterización para uso en pavimentación según la metodología MCT (Miniatura, Compactado, Tropical).

Bernucci (21) enumera las diversas experiencias y desarrollo tecnológico con el uso de suelos tropicales bajo la dirección de portugueses, franceses y británicos en sus antiguas colonias africanas. Investigadores y técnicos de otros países, como Brasil, Estados Unidos, Suiza, Canadá, Sudáfrica, Ghana, Australia, Nigeria, Pakistán, India, México y Perú, entre muchos otros, se han dedicado al estudio de los suelos tropicales y su aplicación para caminos vecinales.

La relevancia del tema y el comportamiento de laterización (cementación) del suelo asociado a sus beneficios definen la continuidad de experiencias y evaluación del dimensionamiento y desempeño de este uso, ya que suman desarrollo a países con climas y suelos tropicales.

Entre los suelos tropicales se encuentran los suelos lateríticos, saprolíticos y transportados (sedimentarios). Los dos primeros son más utilizados en carreteras. Son los suelos lateríticos (cementados) que presentan excelentes condiciones de resistencia, son poco erosivos y de excelente comportamiento a la presencia de agua. Por otro lado, los suelos saprolíticos son muy erosivos, heterogéneos y mecánicamente se comportan muy mal cuando se les somete a la acción del agua. Según Villibor y Alves (22), aproximadamente el 80% de Brasil tiene suelos lateríticos.

FIGURA 30. DIAGRAMA DE FORMACIÓN DE SUELOS TROPICALES



Fuente: Villibor y Alves, 2019 (22)

El perfil del camino muestra las ocurrencias más superficiales de suelo lateralizado y el suelo de saprolita debajo, con sus erosiones. En la ejecución de este recorrido se puede observar el uso de suelo laterítico, sin tener en cuenta que es bastante erosivo.



Figura 31. Ocurrencia de suelo laterítico

Fuente: elaborado por el autor

Villibor y Alves (22) señalan que la aparición de suelos lateríticos (del latín: color ladrillo) resulta del proceso de cementación de partes bien drenadas en regiones tropicales húmedas. Son suelos maduros y presentan algunas peculiaridades, como el enriquecimiento de la parte fina principalmente la arcillosa, por óxidos e hidróxidos de hierro y/o aluminio y caolinitas. Estas placas de caolinita están cementadas por óxidos e hidróxidos que producen una microestructura similar a granos de maíz expandido. Su porción arenosa está constituida por cuarzo, y el porcentaje de esta fracción es responsable de la aparición de suelos que van desde arenosos hasta arcillosos.

Los suelos saprolíticos (sapro, del griego: podrido) resultan de la descomposición de la roca matriz, manteniendo su estructura. Subyacen a la capa superior del suelo. Poseen mineralogía compleja y heterogénea, por lo tanto, suelos jóvenes de uso más limitado.

En Brasil, los suelos tropicales, especialmente los lateríticos, comenzaron a ser utilizados en gran escala alrededor de 1956 y 1960, durante la administración del gobernador Jânio Quadros en el estado de São Paulo. Durante este período, el suelo laterítico se mezcló con grava y arcilla, dando lugar a una mezcla de bajo costo llamada popularmente “virado a São Paulo”. Esta mezcla ya mostraba buenos resultados estructurales a pesar de ir en contra de los principios de la estabilización tradicional (HRB y USCS) y no contar con normas ni estudios técnicos en ese momento. Recién en 1978 comenzaron los primeros estudios técnicos que avalaban este tipo de material.

Gutiérrez Klinsky (24) enumera los primeros usos de suelos lateríticos en las capas más nobles del pavimento, que ocurrieron de forma innovadora y agregando el concepto de pavimento de bajo costo, utilizado en el estado de São Paulo desde la década de 1980. Son ellos:

- Accesos a la ciudad de Campinas, DER-SP. Base en arcilla laterítica, realizada en la década de 1950 con excelente desempeño por más de 20 años,
- Variante de la carretera SP-310, cerca de Araraquara, construida en mayo de 1967. Se construyeron 300 metros con Suelo Laterítico Aria Fina (SAFL) como base y revestimiento de tratamiento superficial simple. Este tramo funcionó excelentemente,
- Calles de la ciudad de Taquaritinga, barrio Cidade Talavasso, estado de São Paulo, en 1968,
- Rua 22 de Agosto en el municipio de Araraquara, estado de São Paulo, 1971,
- Tramo de la Carretera SP-310, entre las ciudades de Pereira Barreto a Ilha Solteira, en 1968,
- Carretera SP-326, banquetas de los accesos Dobrada y Santa Ernestina, en 1971,
- Acceso a los municipios de Dois Córregos y Guarapuã, en 1972,
- Acceso de la BR-153 a la SP-270, conexión con Ourinhos, en 1972.

Según Villibor et al. (25), el 50% del área del estado de São Paulo tiene suelos lateríticos finos que podrían ser utilizados en bases de pavimentos. Otros estados también tienen alta presencia de este material, como Bahía, Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais y Paraná. Hasta el año 2000, se construyeron más de 12.300 km de caminos secundarios con bases lateríticas, con más de 8.000 km construidos en el estado de São Paulo. Solución adoptada con capas finas en tratamiento superficial o capas finas de asfalto.

Entre las especificaciones de servicio para suelos tropicales, se destacan las normas del Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo DER-SP² e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes³:

- ET-DE-PO0/003 – Subbase o base de suelo con grava discontinua de comportamiento laterítico
- SLBD, - ET-DE-PO0/015 – Subbase o base de suelos arenosos finos con comportamiento laterítico
- SAFL, - IP-DE-PO0/005 – Identificación de defectos y soluciones para la recuperación funcional de vías secundarias,
- DNIT 098/2007 – ES – Pavimentación – Base granulométricamente estabilizada con suelo laterítico – Especificación de servicio,

Los suelos tropicales se pueden aplicar puramente como base o sub-base (bajos niveles de tráfico, generalmente hasta 500 vehículos por día), o con algún proceso de estabilización química usando cal o cemento como lo muestran Villibor y Alves (22) y también Veloso et al (26).

Veloso et al (26) realizaron una evaluación del comportamiento de estos materiales para su uso en la pavimentación de la BR-163 en el estado de Pará, ya que el costo de transporte de materiales que cumplían con las metodologías clásicas era muy alto en la región amazónica. El estudio tuvo como objetivo permitir el uso de suelos in natura para las capas de pavimentación, teniendo en cuenta que los suelos de la región se desarrollaron a partir de grandes depósitos sedimentarios generando residuos de materiales gruesos y finos con características lateríticas. Nervis (27) realizó un estudio de dos tramos experimentales con una mezcla de arcilla laterítica y grava como capa de rodadura de caminos laterales.



Figura 32. Mezcla de arcilla laterítica con grava en secciones experimentales

Fuente: Nervis, 2010 (27)

² <http://www.der.sp.gov.br/WebSite/Documentos/Tecnicas.aspx>

³ <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas>

Estos suelos pueden clasificarse utilizando la metodología Miniatura Compactada Tropical (MCT), con el método descrito en las normas DNER - ME 254/97, DNER - ME 256/94, DNER - ME 258/94, como alternativa a los métodos tradicionales de clasificación, en el que se evalúan las curvas de contracción, permeabilidad, expansión, coeficiente de penetración de agua, cohesión, capacidad portante y compactación. Y se clasifican en dos grupos: suelos lateríticos y no lateríticos según el DNIT (28). La siguiente figura muestra esta clasificación.

TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS TROPICALES

CLASSES				N - SOLOS DE COMPORTAMENTO "NÃO LATERÍTICO"				L - SOLOS DE COMPORTAMENTO "LATERÍTICO"		
Grupos				NA Areias	NA Arenosos	NS Siltosos	NG Argilosos	LA Areias	LA Arenosas	LG Argilosos
Granulometria típica (MINERAIS) (1)				areias, areias siltosas, siltos(q)	areias siltosas, areias argilosas	silte (km), siltos arenosos e argilosos	argilas, argilas arenosas, argilas siltosas	areias com pouca argila	areias argilosas, argilas arenosas	argilas, argilas arenosas
CAPACIDADE DE SUPORTE (2)	MINI CBR sem imersão (%)	Muito alto	> 30							
		Alto	dez/30	Alto a médio	Alto	Alto a médio	Alto	Alto	Alto a médio	Alto
		Médio	04/dez							
		Baixo	< 4							
	Perda de suporte por imersão (%)	Ata	> 70							
		Media	40 - 70	Média a baixa	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Baixa	Baixa
		Baixa	< 40							
EXPANSÃO	(%)	Alta	> 3	Baixa	Baixa	Alta	Alta a média	Baixa	Baixa	Baixa
	(2)	Média	0,5 - 3							
CONTRAÇÃO	(%)	Media	0,5 - 3	Média a baixa	Média a baixa	Média	Alta a média	Baixa	Média a baixa	Alta a média
	(2)	Baixa	< 0,5							
PERMEABILIDADE log (k(cm/s))	(2)	Alta	> (-3)							
		Média	(-3) a (-6)	Alto a médio	Baixa	Média a baixa	Média a baixa	Média a baixa	Baixa	Baixa
		Baixa	< (-6)							
PLASTICIDADE	(%)	IP	LL							
	Alto	>30	> 70	Baixa a NP	Média a NP	Alta a média	Alta	Baixa a NP	Média a baixa	Alta a média
	Médio	7 - 30	30 - 70							
		Baixo	<7	< 30						

Propriedades típicas dos grupos de solos

g = quartzo; m = mica; k= caullinita

corpos de prova compactados na umidade ótima de energia normal, com sobrecarga padrão quando pertinente, sem fração retida na peneira de 2mm de abertura.

Fuente: DNIT, 2006 (28)

Los suelos tropicales lateríticos son una buena alternativa de bajo costo para su uso en bases y sub-bases de pavimentos, así como revestimientos primarios en caminos rurales.

Estos suelos, en algunos casos, no cumplen con las metodologías clásicas de dimensionamiento o no presentan resultados teóricos favorables. Como resultado, se desarrolló en Brasil un método mecánico-empírico para el diseño de pavimentos flexibles basado en los estudios de Veloso (26). Siguiendo esta metodología, es posible diseñar el pavimento considerando la calidad de los suelos lateríticos.

Su uso más común se da en bases de pavimentos flexibles debido a su alto CBR, normalmente superior al 80%. También en bases de tierra y grava, tierra y cemento u otras adiciones químicas ya que es una tierra muy resistente. Sus aplicaciones en pavimentación son muy habituales, ya que en vías de menor tráfico se utilizan directamente en la subrasante y reciben un doble tratamiento superficial a modo de revestimiento.

Villibor et al. realizaron una interesante adaptación a los métodos nacionales tradicionales de clasificación por tamaños. (29) para evaluar el CBR de suelos lateríticos, y su uso en pavimentos de bajo costo, donde presenta diferentes valores aceptables de CBR para suelos lateríticos:

- Subbase - suelos con 20% CBR,
- Bases - suelos y estabilizaciones con CBR entre 12% y 80%.

4.3.1 RECOMENDACIONES PARA CAMINOS RURALES

La reutilización de materiales de bajo costo es uno de los grandes retos de la ingeniería. La búsqueda de la economía y durabilidad de las actuaciones de mantenimiento y conservación también debe ser una realidad en los proyectos. Por lo tanto, el uso de suelos lateríticos en las capas base debe seguir ciertos parámetros.

Villibor et al. (25) entienden que un pavimento de bajo costo debe cumplir con los siguientes criterios:

- Capas base y subbase en suelos lateríticos,
- Capa fina en tratamiento superficial o hormigón asfáltico con espesor fino (< 3 cm),
- Dimensionamiento para atender el siguiente tráfico:
 - i. Urbano, liviano a medio, como se muestra en la siguiente tabla,
 - ii. Principal, con volumen de tránsito inferior a 1.500 vehículos comerciales, con un máximo del 30% de vehículos pesados y número $N < 5 \times 10^6$ repeticiones del eje estándar de 80 kN.

TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE RUTAS

Vía	Tipo	Tráfico	Durabilidad	Tráfico por día		N
			Años	Leves	Camiones	
V1	Vía secundaria	Liviano	10	100 a 400	4 a 20	1x10 ⁵
V2	Vía principal	Medio	10	401 a 1500	21 a 1500	5x10 ⁵

Fuente: Villibor *et al.*, 2009 (25)

Con estos supuestos, se puede dimensionar el pavimento de acuerdo a los métodos de diseño establecidos y utilizando sus respectivos factores de equivalencia o relación modular.

4.4 RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)

La reutilización de materiales es uno de los grandes retos de la ingeniería, tanto desde el punto de vista medioambiental como social. La búsqueda de la sustentabilidad y la economía, unida a la durabilidad de las acciones de mantenimiento y conservación de los caminos, debe convertirse en una realidad.

En Brasil, desde 2002, a través del Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA (30), los residuos de construcción civil y demolición (RCD) tienen su disposición controlada y sus generadores tienen responsabilidades compartidas por la gestión de estos residuos. De esta forma, se están tomando algunas iniciativas de reutilización.

El municipio de Fortaleza, Ceará, viene utilizando estos materiales (RCD) en la pavimentación urbana. Santos *et al.* (31) reportan un estudio de caso de esta técnica como capa base y subcapa con y sin incorporación de grava en la Avenida Paulino Rocha, en la región de Arena Castelão. En estos segmentos se utilizaron mezclas con 100% RCD y 75% RCD + 25% grava (grava $\frac{3}{4}$ "), cumpliendo con los rangos granulométricos de Grava Graduada del DNIT. Sobre ellos se colocó una capa de asfalto.

Este material cumplió con la matriz granulométrica DNIT (Norma DNIR 141/2010-ES) para tráfico pesado, observada en la siguiente tabla. La capacidad portante (CBR) estuvo por encima del 80% en todos los ensayos y su compactación.

TABLA 7. GRADUACIÓN DEL AGREGADO

Tipo		Para N > 5x10 ⁶				Para N < 5x10 ⁶		Tolerancia puntual
Malla	(mm)	A	B	C	D	E	F	
% en peso de paso								
2"	50,8	100	100	-	-	-	-	+/- 7
1"	25,4	-	75-90	100	100	100	100	+/- 7
3/8"	9,5	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-	+/- 7
N°4	4,8	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	+/- 5
N°10	2,0	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	+/- 5
N°40	0,42	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	+/- 2
N°200	0,074	8 - 20	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25	+/- 2

N - tránsito de acuerdo con USACE.

Fuente: DNIT 141/2010-ES , 2010 (32)

El estudio de costos realizado demuestra que la aplicación de la técnica puede ser una buena alternativa para la pavimentación y caminos rurales de bajo costo, ya que además de cumplir con las especificaciones del servicio, presenta una importante reducción de costos para los municipios, superior al 50% en este rubro. Asociado a esto, existen beneficios intangibles para la población y el medio ambiente, con la reutilización de los residuos. Las siguientes figuras muestran imágenes de la obra.



Figura 33. Ejecución de obra

Fuente: Santos *et al*, 2019 (31)

Para una imagen del estado actual, presentamos una imagen de Google Maps de esta avenida que, después de casi 10 años, se ha convertido en una importante conexión en el municipio.



Figura 34. Avenida Paulino Rocha, 2022

Fuente: Google Maps (2022)

Estas imágenes, de febrero de 2022, muestran la aparición de grietas y reparaciones localizadas, asociadas al tránsito intenso. Sin embargo, el pavimento parece tener un desempeño aceptable. Por tanto, se trata de una técnica que se puede incorporar al mix de soluciones para caminos rurales, ya sea para estabilización o incluso como revestimiento.

Estos usos son muy específicos y su aplicación localizada. Aunque el uso de RCD en Brasil comenzó en la década de 1980, fue recién en 2004 que las normas técnicas comenzaron a publicarse, como cita Motta (35).

4.5 RESIDUOS DE LA INDUSTRIA DEL ACERO

Existen muchos materiales alternativos que pueden ser utilizados en obras de pavimentación, y su disponibilidad y uso local son soluciones que pueden presentar una adecuada relación costo-beneficio, principalmente en caminos rurales. Las características locales son muy importantes para definir las alternativas de mantenimiento o construcción de caminos, ya sea por la falta de disponibilidad de materiales de buena calidad, las condiciones climáticas y otras variables. Recientemente, ha habido un cambio de conceptos y hay una mayor búsqueda por el aprovechamiento de residuos de industrias disponibles regionalmente.

En este escenario surge el aprovechamiento de residuos siderúrgicos, un material granular noble que puede ser utilizado como agregado primario.

En las diversas regiones de Brasil donde existe industria siderúrgica, sus agregados/chatarras también son abundantes, pudiendo ser utilizados en estabilización con propiedades de reducción de expansión y ganancia de resistencia. Se pueden utilizar en carreteras en capas base, incluidas las especificaciones DNIT 406/2017 - PT (33). Pero también como capa de revestimiento, como es el caso del municipio de Alpercata/MG, con una población de alrededor de 7.000 habitantes, que ya realizó obras a través de una siderúrgica (34), mejorando la calidad de los caminos rurales con sustentabilidad y bajo costo.



Figura 35. Revestimiento primario en acero. Alpercata - MG

Fuente: Prefeitura Municipal de Alpercata, 2021 (35)

En términos de sustentabilidad, este uso es fundamental ya que implica la transformación de acero altamente contaminante. El aprovechamiento de los residuos de los cerca de 30 millones de toneladas de acero que se producen anualmente en Brasil es una actitud muy beneficiosa para las comunidades locales y para el desarrollo de los caminos rurales donde se produce el acero.

Es fundamental cumplir con los estándares ambientales, así como evaluar estas técnicas y sus limitaciones, como la disponibilidad de residuos, ya que su costo de transporte tiene un impacto muy alto en el costo final de la técnica.

4.6 MATERIALES FRESADOS - RAP (*RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT*)

Entre los materiales de pavimentación más nobles se encuentra el material fresado (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Hace unos años, este material era tratado en todo el mundo como restos de trabajo y, por tanto, como un problema: se consideraban elementos de deshecho. Sin embargo, con la escasez de recursos minerales, el alto costo y el potencial de reutilización de estos materiales, se han vuelto muy valiosos.

Inicialmente, se almacenaban en vertederos o se donaban para caminos básicos. Su uso se limitaba a la mejorar la rodadura de los caminos y pequeños patios. Actualmente, su reutilización es obligatoria en algunos países. En Brasil, esto se está desarrollando tanto en el reciclaje de estructuras asfálticas, una técnica muy sofisticada y exitosa, como en nuevas mezclas asfálticas. Estos requieren un mayor cuidado en la dosificación, pero hasta un 30% de este material se reutiliza en una nueva mezcla.

En Brasil, en 2021, el Departamento Nacional de Infraestructura Rodoviária (DNIT) actualizó su normativa para hacer obligatorio el uso de RAP en obras de restauración y pavimentación de carreteras federales a través del DNIT O33/2021 (36). El objetivo es reducir los impactos ambientales y los costos de construcción.

El uso en caminos rurales ha ido creciendo paulatinamente, principalmente con el uso de material RAP de obras municipales. Estos materiales están siendo reservados y aplicados en revestimientos primarios en sus municipios. La siguiente ilustración muestra un almacén de material fresado, de forma común y precaria.



Figura 36. Material fresado

Fuente: elaborado por el autor

Sin embargo, estos materiales deben ser adecuadamente seleccionados y almacenados para su mejor aprovechamiento, tanto en términos de granulometría, residuo asfáltico y desempeño futuro.

Una acción interesante fue tomada por el gobierno municipal de Guarujá, estado de São Paulo, que estableció, a través del Decreto nº 14.839, de marzo de 2022 (37), la obligación de reutilizar material asfáltico fresado en vías públicas urbanas como capa de revestimiento. Aunque las especificaciones técnicas no están definidas, este es un gran paso.

El municipio de São Miguel do Iguaçu (38), en Paraná, aplicó material fresado para mejorar caminos rurales en 2021, con buen desempeño en la capa final para mejorar el estado de los caminos.

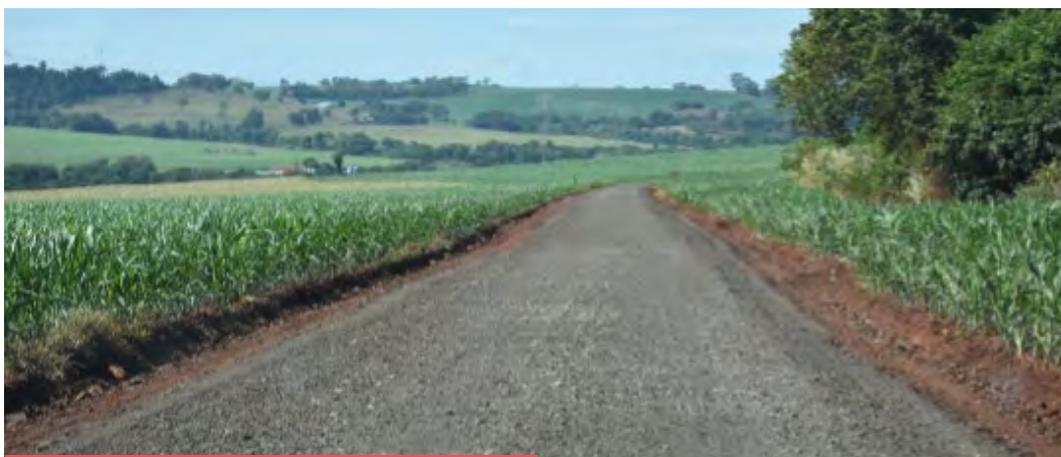


Figura 37. Recubrimiento con fresado

Fuente: Intendencia de São Miguel do Iguaçu, 2021 (38)

Similar uso fue hecho por el municipio de Campos, estado de Río de Janeiro, utilizando material freado en caminos urbanos y rurales. Este trabajo se realizó en marzo de 2022.



Figura 38. Recubrimiento con freado. Campos (RJ)

Fuente: Intendencia de Campos, 2022 (39)

Esta es una alternativa muy interesante para su uso en revestimientos primarios, pero debe tener una subrasante resistente. El material freado seleccionado (evitando grumos) y su rendimiento puede mejorarse con una adecuada distribución del material y una correcta compactación.

4.7 TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

El tratamiento de superficies es una técnica de pavimentación muy antigua, utilizada con gran éxito en Brasil. En las últimas décadas, sin embargo, se ha descuidado en los caminos rurales, con el uso creciente de mezclas asfálticas duraderas, con mayores costos de implementación y mantenimiento.

El tratamiento superficial es una capa delgada (de 5 a 20 mm), de bajo costo y alta resistencia al desgaste, que además cumple la función de impermeabilizar la subrasante y garantizar una excelente adaptación a las deformaciones de la subrasante. Por otro lado, no es muy eficiente en cuanto al agrietamiento por fatiga, ya que su función estructural es muy limitada debido a su pequeño espesor. Sin embargo, su necesidad estructural en carreteras con poco tráfico también es menos determinante.

Es una técnica muy interesante para caminos rurales y secundarios, ya que es de bajo costo y de fácil aplicación, con equipos y técnicas de aplicación relativamente simples.

Algunas de las principales referencias bibliográficas en Brasil (40) mencionan que los tratamientos superficiales consisten en la aplicación de ligantes asfálticos y agregados sin mezclado previo, con posterior compactación que promueve la cobertura parcial y adherencia entre agregados y ligantes.

Al respecto, Larsen (41) añade: “Tratamiento superficial por penetración: revestimiento flexible de pequeño espesor, realizado por esparcimiento sucesivo de ligante bituminoso y grava, en una sola o múltiples operaciones. El tratamiento simple comienza, obligatoriamente, con la única aplicación de la emulsión asfáltica, que se cubre poco después con una sola capa de piedra. El ligante penetra el agregado de abajo hacia arriba (penetración ‘inversa’). El tratamiento múltiple comienza, en todos los casos, con la aplicación del ligante que penetra de abajo hacia arriba en la primera capa de piedra, mientras que la penetración de las siguientes capas de ligante es ‘invertida’ o ‘directa’. El espesor final es del orden de 5 a 20 mm”.

Los espesores varían según la constitución de las capas, de una a tres. Así, pueden ser TSS (tratamiento superficial simple), TSD (tratamiento superficial doble) y TST (tratamiento superficial triple).

Los autores (42) presentan un esquema de ejecución de la técnica, ya que es ampliamente aplicada incluso en carreteras estatales y vecinales de los estados de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Bahia, Tocantins, Goiás y Santa Catarina, más que en muchos municipios. Esta técnica es utilizada y estandarizada por estos municipios, además de organismos viales como el DNIT (Departamento Nacional de Infraestructura de Transportes), DAER-RS (Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, Estado do Rio Grande do Sul), DER-PR (Departamento de Estradas de Rodagem, Estado do Paraná), DER-SP (Departamento de Estradas de Rodagem, Estado de São Paulo), GOINFRA (Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes) y SIE-SC (Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade do Estado de Santa Catarina), entre otros.

Hasta entonces, la aplicación del tratamiento se consideraba artesanal, con aplicación de emulsión asfáltica sobre la superficie ya compactada, previa distribución de piedra según norma de dosificación de referencia, con equipos de distribución de material. Las imperfecciones deben corregirse manualmente (sectores sin agregados). Después de eso, la capa se comprime. Para tratamientos dobles o triples se repite el proceso con su granulometría y tasas específicas.

FIGURA 39. EJECUCIÓN DEL TRATAMIENTO



(a) Aplicación de ligante



(b) Distribución de agregados



(c) Corrección de imperfecciones



(d) Compresión de los agregados



(e) Aspecto superficial



(f) Vista general

Fuente: Bernucci,2022 (42)

La siguiente tabla muestra un ejemplo de rangos granulométricos que se pueden utilizar en el TSD, según DNIT 147/2012-ES (43).

TABLA 8. ESTÁNDARES BRASILEÑOS TSD

Tipo		1ª capa		2ª capa		Tolerancia del rango de proyecto
Malla	(mm)	A	B	C		
% que pasa, en peso						
1"	25,4	100	-	-		+/- 7
3/4"	19,0	90 - 100	-	-		+/- 7
1/2"	12,7	20 - 55	100	-		+/- 7
3/8"	9,5	0 - 15	85 - 100	100		+/- 7
Nº4	4,8	0 - 5	10 - 30	85 - 100		+/- 5
Nº10	2,0	-	0 - 10	10 - 40		+/- 5
Nº200	0,074	0 - 2	0 - 2	0 - 2		+/-2

Tasa de aplicación		
Capa	Ligante (l/m²)	Agregado (kg/m²)
1ª	1,2 a 1,8	20 a 25
2ª	0,8 a 1,2	10 a 12

Fuente: DNIT, 2012 (43)

El uso de tratamientos superficiales y otras técnicas propuestas se basan en la búsqueda de soluciones económicamente eficientes que contribuyan a aumentar la calidad de los caminos rurales y reducir el déficit de pavimentación en caminos no pavimentados. El DNIT recomienda que, para un tránsito diario de aproximadamente 100 camiones y autobuses y 1.500 vehículos livianos (número N < 106), se adopten soluciones de tratamiento superficial, es decir, no son necesarios ligantes asfálticos.

En otras palabras, el uso de pavimentos alternativos que tengan costos más bajos que los pavimentos tradicionales (asfalto) es muy importante para administrar las escasas inversiones y reducir los tiempos de viaje entre el campo y la ciudad.

Hay muchas iniciativas para el uso de tratamientos superficiales en caminos rurales. Otro gran ejemplo es el trabajo de la Asociación Bahiana de Productores de Algodón (ABAPA) que, desde 2013, trabaja en este sentido para mejorar los caminos rurales. En el municipio de Luís Eduardo Magalhães ya fueron construidos más de 70 km de caminos rurales con TSD, beneficiando cerca de 300 familias en un área de 50 mil hectáreas de producción de soya, algodón y maíz en el oeste de Bahia. La siguiente figura muestra la evolución de la técnica con equipos modernos (multidistribuidor).

Este método reemplaza el uso habitual de dos camiones, uno para esparcir la emulsión asfáltica y otro para distribuir las piedras, con un solo camión que realiza ambos pasos simultáneamente. Esto implica una mayor agilidad y reducción de operarios. La automatización también proporciona una mejor calidad en el proceso ejecutivo y economía de mano de obra.

Así, se desmitifica la baja productividad y uso artesanal de la solución, comprobada por un uso de alta productividad y control de calidad superior.

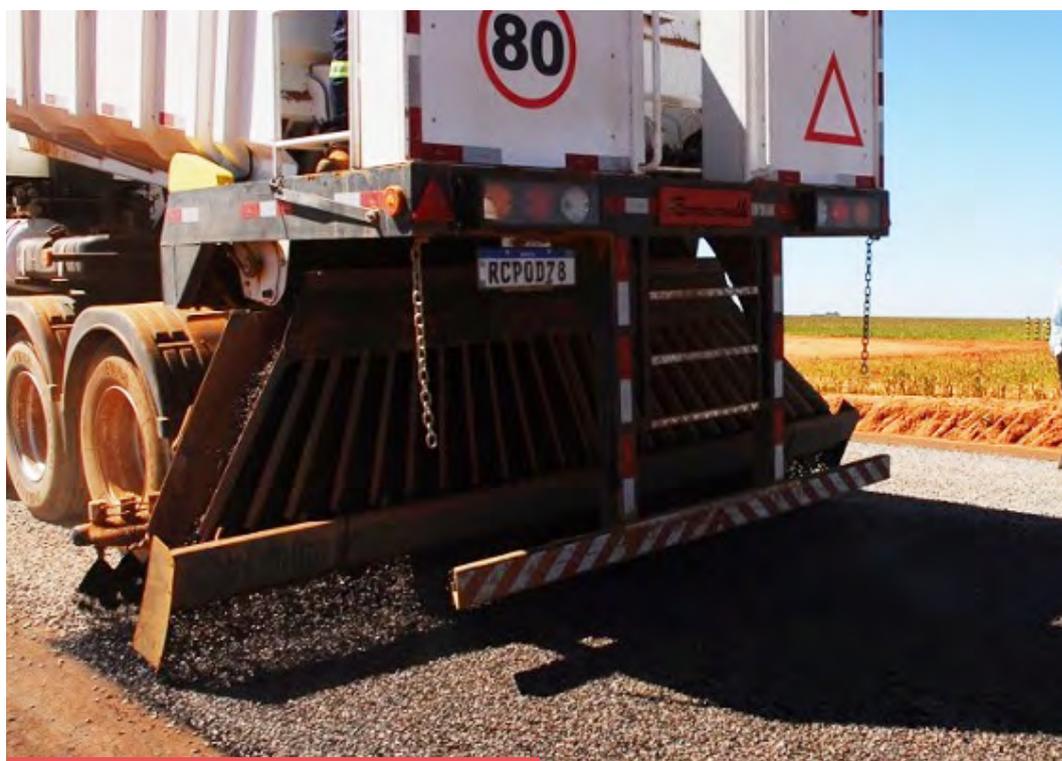


Figura 40. Execução de TSD na Bahia

Fuente: BA de Valor, 2020 (44)

Esta técnica, ampliamente utilizada desde la década de 1970, debe entenderse como una técnica con buenos resultados y que garantiza un mejor estado de los caminos rurales en un escenario de escasa inversión. Sobre todo, trae mejores condiciones de vida, sustentabilidad y reducción de costos de transporte.

A continuación, algunas imágenes que demuestran la facilidad de realizar la técnica con equipos antiguos o modernos.



Figura 41. Ejecución de TSD en São Desidério (Bahia)

Fuente: Intendencia Municipal de São Desidério, 2022 (45)

Las Figuras siguientes muestran diferentes ejecuciones de tratamientos superficiales, tanto en caminos rurales como en municipios.



Figura 42. Ejecución de TSD con multidistribuidor

Fuente: elaborado por el autor

A continuación, una vía en servicio con un comportamiento excelente en el tiempo y con la acción de un tráfico intenso.



Figura 43. Pavimento en TSD Ruta 39 (Maldonado, Uruguay)

Fuente: elaborado por el autor



CAPÍTULO 5

INICIATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS CAMINOS

CAPÍTULO 5

INICIATIVAS PARA LA RECUPERACIÓN DE LOS CAMINOS

5.1 PATRULLA RURAL

En el noroeste de Paraná se firmó un convenio entre el Consórcio Intermunicipal da APA Federal do Noroeste do Paraná (COMAFEN)” y la Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná, en cumplimiento del programa “Estradas da Integração - Patrulha do Campo”. El objetivo era atender las necesidades relacionadas con la recuperación de caminos rurales en los municipios consorciados con el fin de mantener en buen estado los caminos rurales, con foco en el desarrollo rural y urbano de los municipios participantes del consorcio.

Los municipios tienen a su disposición, para atender sus necesidades, maquinaria pesada como excavadora hidráulica, tractor de orugas, motoniveladoras, cargadores frontales, rodillo compactador, camión tanque y camión volcador. Los recursos son del gobierno de Paraná, a través de financiamiento con bancos de desarrollo. Los municipios, por su parte, invierten en mano de obra, en alimentación para los empleados, en combustible y en equipamiento.

Según el Portal da Cidade/Loanda (46), desde 2018, esta acción ha permitido 66 km de mejoras en caminos rurales en los 12 municipios del consorcio, asegurando una mejor transitabilidad, desarrollo urbano y rural, además de promover la formación de gestores públicos y técnicos. El convenio aún está en curso y se está mejorando para atender a todos los municipios. La siguiente figura muestra la ejecución de los servicios.



Figura 44. Patrulla Rural

Fuente: Portal da Cidade/Loanda (2021)

La patrulla se compone de dos camiones volcadores, un camión tanque, un cargador frontal, un rodillo compactador, una motoniveladora, una excavadora hidráulica y un tractor de orugas.

5.2 MEJOR CAMINO

En el estado de mayor desarrollo industrial de Brasil, São Paulo, existe desde 1997 el programa “Melhor Caminho”. Según el sitio web de la Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado (49), el programa consiste en convenios entre la secretaría y los gobiernos municipales con el objetivo de recuperar y conservar tramos de caminos rurales a través de la ejecución de obras. Según la Assembleia Legislativa de São Paulo (50), en 21 años la iniciativa atendió 12.000 km de caminos rurales, y deberá ser ampliada por otros 5.000 km de caminos en la nueva fase del programa.

En el ámbito de este programa, la ciudad de Bauru (51) anunció inversiones en 5,87km de vías de este municipio, con recuperación del revestimiento, elevación de la rasante, perfilado de la vía y compactación del suelo, con servicios adicionales para la construcción de pluviales tomacorrientes y cajas de contención.



Figura 45. Programa “Mejor Camino”

Fuente: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, 2022 (50)

Otro ejemplo es el municipio de Dracena (47), que comenzó realizando más de 7km de mantenimiento y adecuación de caminos rurales del municipio. Hay planes para contratar otros 5 km en los próximos meses.

5.3 CAMINOS DEL VALLE

En el estado de Minas Gerais, una sociedad entre una empresa siderúrgica y comunidades del este del estado (48) dio origen al programa llamado “Caminhos do Vale”. La empresa proporciona el agregado de origen siderúrgico, que se mezcla con suelo local y se aplica con apisonadora, para la pavimentación de caminos rurales de la región como revestimiento primario.

La empresa hace la donación y se hace cargo del material hasta que llegue a los patios disponibles por los municipios. Después de cinco años del programa, 84 municipios ya se han beneficiado y han recibido alrededor de 2,8 toneladas de agregados producidos a partir de residuos de procesos siderúrgicos. La empresa también se encarga de donar plantines para ser plantados en áreas con manantiales que necesitan ser recuperadas.

Los municipios son los encargados de realizar los servicios, mezclando el agregado con la tierra del lugar y compactando la mezcla con un rodillo compactador. Este tipo de solución demostró ser eficaz, especialmente en épocas de fuertes lluvias, cuando las rutas por donde se habían realizado los servicios permanecían transitables.

A cambio del material recibido, los municipios deben implementar proyectos dirigidos al medio ambiente, como la recuperación de manantiales y la plantación de plantines. A lo largo de la existencia de este proyecto, se mapearon y recuperaron casi 4.000 manantiales, con la siembra de miles de mudas recibidas de la empresa metalúrgica.



Figura 46. Caminos del Valle

Fuente: Blog de Usiminas, 2020 (48)

Esta iniciativa permite que miles de personas de la comunidad este de Minas tengan acceso a servicios de educación y salud, ya que pueden asistir con mayor facilidad a escuelas y hospitales.

El programa tiene tanto éxito en Vale do Aço que otras industrias se han unido a la iniciativa sostenible. Ciudades como Santana do Paraíso, Ipaba, Naque y Marliéria reciben apoyo de esta nueva empresa con maquinaria y aplicación de materiales. Hasta el momento, la empresa ha rehabilitado más de 50 kilómetros de caminos rurales.

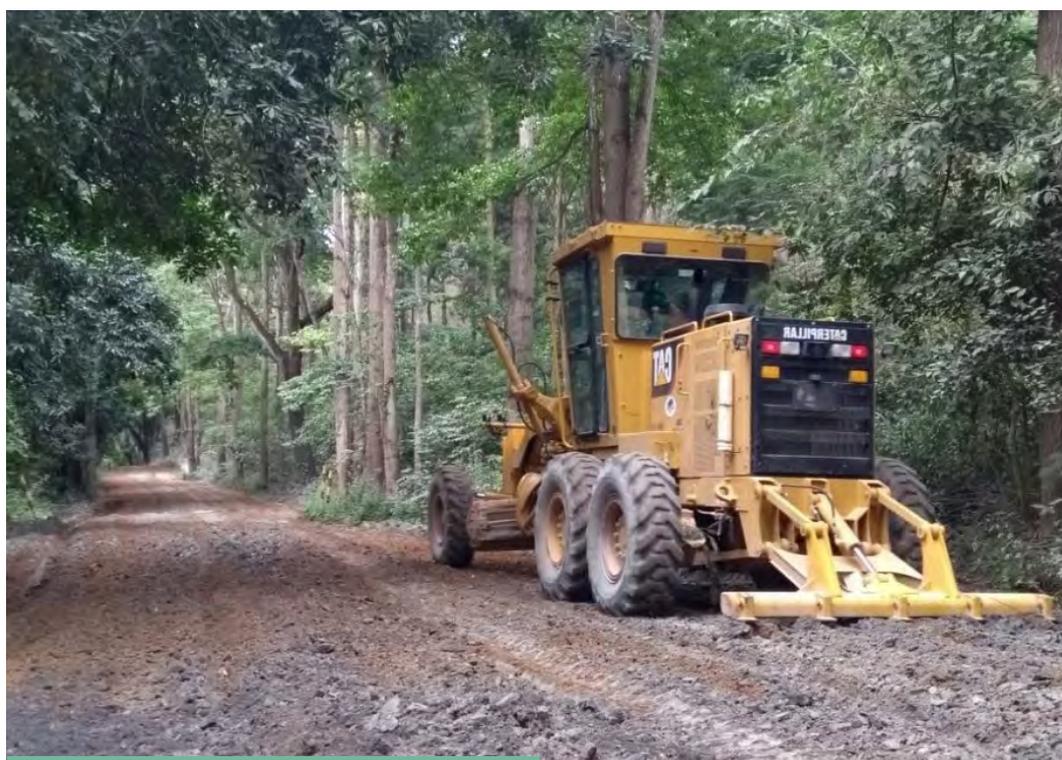


Figura 47. Valle de Aço

Fuente: Site UaiAgro, 2021 (51)

5.4 ESTUDIO BÁSICO DE DESARROLLO MUNICIPAL (EBDM)

Elaborado por el CREA del estado de Paraná, el Estudio Básico de Desarrollo Municipal (EBDM) (52) tiene como objetivo presentar varias propuestas y soluciones, contribuyendo con los gestores públicos y otras autoridades en la elaboración de planes plurianuales de inversión en caminos rurales.

Los lineamientos del estudio (53) fueron presentados a la alcaldía de Maringá, indicando, a través de registros e informes técnicos, necesidades y recomendaciones técnicas para el mejoramiento de estas vías. Además, el documento también presenta la legislación aplicable en la región.

Las normas también fueron presentadas en más de 40 municipios del estado, abarcando varias guías técnicas temáticas en diferentes áreas de la ingeniería, con el fin de uniformar la necesidad de acciones ordenadas.

Sabiendo que cada municipio tiene sus particularidades y legislación, el documento presenta modificaciones para atender las necesidades y particularidades de cada uno.

Por ejemplo, el municipio de Ponta Grossa (54), que tiene aproximadamente 3.500 km de caminos rurales, tiene su propia legislación, que clasifica los caminos rurales en tres clases según el ancho, desde caminos principales, de 10 m de ancho, hasta caminos secundarios con 5,0 m de ancho.

Además, define que todos tendrán un trazado de cinco metros a ambos lados. También establece que corresponde al municipio la adecuación de la vía, así como la construcción de las obras de drenaje y demás obras necesarias para su mantenimiento.

Estas iniciativas son muy importantes para el desarrollo regional y para la estandarización del uso de técnicas adecuadas para el mantenimiento de caminos rurales.

5.5 PATRULLA MECANIZADA - BAHIA

El Programa Patrulha Mecanizada es una iniciativa financiada por el Instituto Brasileiro do Algodão (IBA), llevada a cabo por la Associação de Produtores de Algodão da Bahia (ABAPA). Tiene alianza con productores rurales del Oeste de Bahía, la Associação dos Agricultores e Irrigadores da Bahia (AIBA), el Programa de Desenvolvimento da Agricultura (PRODEAGRO), el Fundo de Desenvolvimento da Agroindústria do Algodão (FUNDEAGRO) y los municipios de esta región (55).

Esta alianza surge para brindar obras de mejoramiento de caminos rurales, teniendo en cuenta que luego de las lluvias de abril comienza el transporte de la cosecha de granos y se repite año tras año una verdadera pesadilla por las pésimas condiciones de los caminos rurales, que conectan las propiedades con carreteras estatales y federales.

En 2021, aún durante las lluvias, las obras no se detuvieron y más de 433 km de caminos rurales recibieron acciones correctivas para mejorar la plataforma vial en 14 "líneas". Se realizaron obras de contención, drenaje y correcciones puntuales, evitando un desastre para la comunidad y la agroindustria.

La principal estrategia es recuperar las vías y, posteriormente, pavimentarlas con Tratamiento Superficial Doble (TSD). La meta para el bienio 2021/2022 fue la implementación de 280 km de caminos rurales recuperados y pavimentados. Desde su creación en 2013, el programa “Patrulla Mecanizada” ya recuperó más de 3.000 km, con la pavimentación de tres caminos rurales.

El Programa Patrulla Mecanizada es un proyecto de adquisición de maquinaria, insumos y vehículos auxiliares para la conservación de los recursos naturales en el cultivo y transporte de la producción de algodón, integrando el campo y el acceso a las comunidades (55). Es parte del compromiso de ABAPA con la sustentabilidad, ya que contribuye a una mejor gestión hídrica en la región, pues promueve el aprovechamiento del agua de lluvia y ayuda a la recarga de las napas freáticas.

Hay muchos beneficios indirectos, ya que las buenas carreteras significan una reducción del tiempo de viaje de una ambulancia a una emergencia médica, un menor costo de transporte de productos a las comunidades e incluso una reducción de la pérdida de productos o animales durante el transporte.



Figura 48. Patrulla Mecanizada - Camino de Estrondo

Fuente: Associação dos Produtores de Algodão da Bahia - Abapa, 2021 (56)



Figura 49. Patrulla Mecanizada - São Sebastião

Fuente: Associação dos Produtores de Algodão da Bahia - Abapa, 2021(56)



CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN DE CAMINOS RURALES

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN DE CAMINOS RURALES

Este trabajo abordó la caracterización de la malla vial rural existente en Brasil, sus aspectos legislativos, patologías encontradas, técnicas de mantenimiento e iniciativas de cooperación.

Sin embargo, para la creación de un programa de gestión de caminos rurales, es necesario considerar, además de las técnicas, los lugares donde se deben realizar las acciones, la experiencia de las empresas regionales, la definición de acciones, la priorización y los costos involucrados durante un cierto período de vida útil.

En cuanto a la valoración del deterioro o estado de conservación de los caminos rurales, cuestión fundamental para un sistema de gestión, se observa la precariedad de los métodos existentes en el país (57).

El gran reto para la correcta evaluación del pavimento de caminos rurales está en la definición del procedimiento de evaluación (objetivo o subjetivo) que involucre los parámetros a observar para la identificación de los mecanismos de deterioro y la definición de tramos de comportamiento homogéneo compatible para la representación de la malla en estudio. Estos deben reflejar la realidad del camino. Por ejemplo, si se selecciona un tramo de carretera completamente deteriorado en 20 metros para representar una unidad de muestreo de 1000 metros, seguramente tendremos 980 metros con una solución de mantenimiento o reconstrucción extremadamente costosa, donde una simple corrección de peralte sería suficiente.

Brasil, además de la falta de mantenimiento de sus caminos rurales, también tiene una deficiencia en el desarrollo de métodos de análisis para la evaluación de defectos. Las principales metodologías disponibles para la evaluación de superficies de caminos rurales se desarrollan en Estados Unidos, Europa y África.

Esta etapa de recolección de datos es fundamental para la evaluación e identificación de defectos y verificación de la necesidad de intervenciones. La correcta transcripción de las patologías que se producen a lo largo del recorrido es crucial para elegir la solución a adoptar.

Al evaluar un sistema de gestión de caminos rurales, todas las decisiones y estrategias dependen de este paso. Por lo tanto, es prudente aplicar una metodología que represente consistentemente los caminos rurales.

Algunas metodologías presentadas por Bühler (57) son relevantes y comúnmente utilizadas por grandes organizaciones internacionales como el Banco Mundial. Sin embargo, cualquier metodología a utilizar debe ser validada o calibrada en campo antes de su aplicación.

A continuación, se sugieren algunas metodologías que se pueden usar para evaluar los caminos rurales con base en estudios generalmente financiados por organizaciones de todo el mundo.

6.1 MÉTODO *ROAD CONDITION SURVEY/ DETAILED VISUAL INSPECTION* (RCS/DVI)

El método divide la evaluación vial en dos etapas con objetivos diferentes pero complementarias. La primera etapa determina el estado general de la red (relevamiento de las condiciones de la vía). Contempla el conjunto, sin detallar la ocurrencia de defectos, sino las condiciones generales, incluyendo banquetas (arcenes), señalización y conservación. La segunda evaluación es más específica (inspección visual detallada) y se puede aplicar directamente a la evaluación de la superficie de los caminos rurales, ya que determina la ocurrencia de defectos en el revestimiento.

La metodología es reconocida por el Banco Mundial y fue desarrollada por la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) en la década de 1990 (58)

Las unidades de muestreo por este método deben ser mayores de 500 metros pero no mayores de 5000 metros en cada dirección de la carretera. El tamaño de la muestra es uno de los principales puntos de atención, ya que una valoración subjetiva primaria, con definición visual por parte del observador, puede enmascarar regiones y resultados críticos, como en regiones serranas, planicies aluviales y otras que presenten particularidades.

La evaluación de la red (RCS) o nivel de gestión evalúa tres parámetros diferentes relacionados con el estado de la carretera (puntuación de 1 a 5). El primero evalúa la superficie de la carretera, sus defectos y cuando está en mala situación sirve como disparador para la evaluación detallada (DVI).

El segundo parámetro identifica los elementos del trazado, tales como sistemas de drenaje, procesos de erosión y conservación (puntuaciones de 1 a 3).

El tercero y raro en Brasil (puntuaciones de 1 a 3) evalúa condiciones de señalización y elementos de seguridad. Además, aunque es inusual en Brasil, la evaluación física de obras de arte especiales, el paso de cursos de agua y arroyos pueden ser incluidos en este análisis. Aunque inusuales, son extremadamente importantes.

Cuando un alerta se dispara por la nota RCS, se requiere inspección visual detallada (DVI) para evaluar en detalle el tipo de defecto, su frecuencia y gravedad, proporcionando más información para el diagnóstico de la sección afectada. Este análisis también se realiza para evaluar ondulaciones, alabeos, sección transversal, espesor de revestimiento, erosión, agujeros y lodazales.

6.2 MÉTODO *EARTH ROAD CONDITION INDEX* (ERCI)

El método originario de Egipto para determinar áreas que necesitan mantenimiento, según Ferreira (59), es una adaptación de otros métodos objetivos de evaluación utilizados para pavimentos flexibles.

El procedimiento divide la vía en tramos homogéneos, con la particularidad de representar al menos el 10% de la longitud de cada subtramo. Es decir, los tramos de 1000 metros deben tener subsecciones de 100 metros, lo que hace que las unidades de análisis sean bastante adecuadas y representativas del estado de la vía.

Luego del levantamiento de campo en todos los tramos y subtramos, se calcula el índice ERCI. Todos los defectos se clasifican por su gravedad (baja o alta) y densidad (ocasional, frecuente o de gran escala). Posteriormente, se aplica un valor de ponderación individual para cada defecto y para cada artículo, siendo el ERCI el valor máximo de la escala (100) restado de los valores individuales. Así, cuanto menor sea la ocurrencia de defectos, o menor su importancia, mayor será la clasificación de este segmento homogéneo. El gran secreto del método radica en el peso asignado a cada clase de defecto. Este es un método derivado del PCI (Pavement Condition Index) y muy similar a los métodos de evaluación de carreteras brasileñas.

La adopción de este tipo de metodología considera frecuencias, pesos y factores de reducción, además de las características locales, que interfieren mucho en el puntaje en su conjunto y perjudican su eficiencia. Por ejemplo, una erosión leve localizada tiene un peso (reductor) de 10 puntos, mientras que para la ocurrencia de baches con la misma intensidad el valor es de solo 4 puntos, y la corrección de la erosión interfiere menos con el tráfico y afecta menos al usuario que la frecuencia de agujeros, que todavía tienen un alto índice de deterioro. Es decir, la validación de los pesos asignados a cada tipo de defecto considerado puede interferir en el correcto diagnóstico.

La siguiente tabla resume los factores considerados y su alcance.

TABLA 9. CLASIFICACIÓN POR ERCI

Defectos	Pesos	Severidad			Densidad		Deducción
		Leve	Grave	Ocasional	Frecuente	Extenso	
Falla por erosión del terraplén	20	0,5	1	0,4	0,8	1	
Fallo del muro de contención	12	0,3	1	0,4	0,8	1	
Altura de la superficie	15	0,5	1	0,4	0,8	1	
Peralte	8	0,5	1	0,4	0,8	1	
Huellas (ATR)	8	0,5	1	0,4	0,8	1	
Baches	8	0,5	1	0,4	0,8	1	
Superficie saturada	8	0,6	1	0,4	0,8	1	
Estructura ilegal de irrigación	7	0,4	1	0,4	0,8	1	
Plantas en la superficie de la ruta	7	0,5	1	0,4	0,8	1	
Ocupación de la superficie de la ruta	7	0,4	1	0,4	0,8	1	

Fuente: Buhler, 2019 (57)

El método necesita desarrollos y ajustes para la evaluación de la superficie de los caminos rurales, pues entre los defectos considera sólo baches y áreas con lodazales. Aun así, estas patologías son menos importantes si se comparan con problemas como la erosión, fallas en los muros de contención y otros factores importantes que no están relacionados con el pavimento, como la presencia de plantas en la superficie y la ocupación del pavimento por equipos o productos.

6.3 MÉTODO *UNSURFACED ROAD CONDITION INDEX* (URCI)

Este es el método más utilizado en Brasil. La Agência Reguladora de Concessões de Rodovias de São Paulo (ARTESP) lo utiliza para evaluar tramos de carreteras sin asfaltar. El método *Unsurfaced Road Condition Index* fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) con una puntuación de 0 a 100 puntos para determinar la condición de la superficie de la carretera. Su descripción completa se puede encontrar en el *Technical Manual TM 5-626 "Unsurfaced Road Maintenance Management"* del USACE, 1995 (60).

Las unidades de muestreo definidas por el método se basan en el área de la carretera. Debido a la variación de anchos, la muestra debe ser $(230 \pm 90 \text{ m}^2)$. La densidad de defectos se obtiene a través de la relación entre la cantidad total de un defecto dado con una severidad dada y el área total de la muestra, es decir:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{medida del defecto (m}^2, \text{ m unidad)}}{\text{área de la muestra (m}^2)} \cdot 100\%$$

El modelo norteamericano es bastante detallado en cuanto a análisis de secciones y ocurrencia de defectos, porque culturalmente Estados Unidos es muy cuidadoso con el mantenimiento de los caminos rurales.

Para mayor adecuación a la condición brasileña, se sugiere que las unidades muestrales no sean fijadas por área predeterminada, ya que Brasil no tiene una regulación que determine la estandarización del ancho de los caminos rurales, ni una correcta determinación del uso del suelo. En este caso, la evaluación sería muy sensible a la variación en el ancho de las vías y su trazado.

La puntuación URCI se basa en la evaluación de los diferentes defectos observados, su densidad de área y gravedad (alta, media o baja), nuevamente deducida por factores contribuyentes.

Los defectos considerados son:

1. Adecuación de la sección transversal: una sección transversal es inadecuada cuando la superficie no es capaz de drenar el agua en la pista, lo que resulta en la acumulación de agua,
2. Adecuación del drenaje lateral: responsable del flujo y protección de los procesos de erosión,
3. Ondulaciones: comodidad de rodadura,
4. Formación de polvo: relacionado con la seguridad (visibilidad) y la salud,
5. Baches: degradación de la superficie,
6. Huellas: deformaciones de la estructura y lodazales,
7. Segregación y pérdida de áridos: aspectos de seguridad y adherencia.

El método proporciona gráficos en los que, a través de la densidad de defectos (%) obtenida, se encuentra un valor deducible (DV) para cada defecto y grado de severidad. Sumando el DV de cada defecto y levantado y el grado de severidad, se obtiene el Valor Deducible Total (VTD).

La clasificación de los caminos rurales por el índice URCI se presenta en el siguiente tabla:

TABLA 10. CLASIFICACIÓN DEL ESTADO DEL CAMINO RURAL

URCI	
Puntaje	Concepto
100 - 85	Excelente
85 - 70	Muy bueno
70 - 55	Bueno
55 - 40	Regular
40 - 25	Malo
25 - 0	Pésimo

Fuente: adaptado por el autor

Este método cubre todos los defectos de la superficie y es adecuado para evaluar superficies de caminos rurales. Su eficacia depende mucho de la calidad y experiencia de los evaluadores y de su formación para la correcta identificación de estos defectos. Pero este problema se puede mitigar mediante el uso de equipos con cámaras para recolectar imágenes de superficie y definir ocurrencias en la oficina con técnicos bien capacitados.

Las limitaciones del método y, por tanto, la necesidad de calibración de su modelo, están en las curvas que supuestamente evalúan la evolución de los defectos. Esto se debe a que este es un método de Estados Unidos, un país que invierte mucho en investigación y en sus caminos rurales y tiene criterios estrictos de mantenimiento, así como una matriz de tráfico distinta.

Por lo tanto, la implementación de herramientas para la gestión de caminos rurales, mediante el uso de indicadores que caractericen los aspectos técnicos, ambientales, sociales, económicos y regionales, son útiles para priorizar las acciones de mantenimiento en cada región. La definición de estrategias y la asignación de recursos dependen del conocimiento de la red vial rural. El resultado es la generación de mejor flujo vehicular, desarrollo social, mejor flujo de la cosecha y reducción de costos de transporte asociados a un mejor acceso a salud y educación de la población rural, además de ahorros en inversiones por parte de los municipios.



CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO 7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CENSO 2020. **Site Saúde Amanhã/Fiocruz**, 2017. Disponible en: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html>. Acceso: julio 2023.
2. CNT. Confederação Nacional dos Transportes. **PESQUISA CNT de Rodovias**, 2022. Disponible en: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/>. Acceso: julio 2023.
3. BRASIL. Ministério da Infraestrutura, 2019. Rodovias Federais. Disponible en: <https://antigo.infraestrutura.gov.br/rodovias-brasileiras.html>. Acceso: julio 2023.
4. NASA confirma dados da Embrapa sobre área plantada no Brasil. **Embrapa**, 2017. Disponible en: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30972114/nasa-confirma-dados-da-embrapa-sobre-area-plantada-no-brasil>. Acceso: julio 2023.
5. CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Produção Agrícola. Safra: Série Histórica dos Grãos**. Disponible en: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>.
6. ESTRADA Legal: Prefeitura lança maior programa de recuperação de estradas rurais: Trabalhos incluem pavimentação, recapeamento e PMVP. **SITE DA PREFEITURA DE BRAGANÇA PAULISTA**, 2021. Disponible en: <https://www.braganca.sp.gov.br/noticias/estrada-legal-prefeitura-lanca-maior-programa-de-recuperacao-de-estradas-rurais>.
7. SÃO PAULO. **Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo**. Disponible en: <https://www.agricultura.sp.gov.br/melhor-caminho>. Acceso: julio 2023. SAVIAN, Moisés *et al.* **Sistema de Gestão de Estradas Rurais**: Inovação na Administração Municipal de Lages, Santa Catarina. X Congresso CONSAD, Brasília, Brasil: 2017.
8. LAGES. **Lei Municipal N° 4.159, de 31 de maio de 2016**. Aprova o Plano Municipal de Desenvolvimento Rural e prevê outras medidas. Disponible en: <https://leismunicipais.com.br/a1/sc/l/lages/lei-ordinaria/2016/416/4159/lei-ordinaria-n-4159-2016-aprova-o-plano-municipal-de-desenvolvimento-rural-e-da-outras-providencias>. Acceso: julio 2022.
9. LAGES. **Lei Municipal N° 4.135, de 12 de novembro de 2015**. Dispõe sobre as estradas rurais municipais de Lages, cria o Sistema de Gestão de Caminhos Rurais – SISGE rurais , R. Disponible en: <https://leismunicipais.com.br/a/sc/l/lages/lei-ordinaria/2015/414/4135/lei-ordinaria-n-4135-2015-dispoe-sobre-as-estradas-rurais-municipais-de-lages-cria-o-sistema-de-gestao-de-estradas-rurais-sisger-e-da-outras-providencias>. Acceso: julio 2022.
10. BRASIL. Departamento Nacional de Rodovias. Dirección de Desenvolvimento Tecnológico. Divisão de Capacitação Tecnológica. **Manual de Projetos Geométrico de Estradas Rurais**. Rio de Janeiro, 1999.

11. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de Conservação de Rodovias**. Rio de Janeiro, 2005.
12. BRASIL. Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo. **Manual Básico de Rodovias**. Volumes I, II, III. São Paulo, 2012.
13. BAESSO, D., GONÇALVES, F. L. **Técnicas Adequadas de Estradas de Terra**. Florianópolis: DER-SC, 2003.
14. SOUZA, M. L. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. 3a. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1981.
15. SKORSETH, K., SELIM, A., **Gravel roads: maintenance and design manual**. South Dakota Local Transportation Program. D.O.T. Dakota del Sur – FHWA, 2000.
16. BRASIL. Agência Nacional de Águas (ANA). **Diretrizes para o Programa Produtor de Água**. Brasília, 2018.
17. QUASE 20 quilômetros de estradas rurais recebem melhorias. **Jornal do Oeste**, Toledo - PR, 23 abr. 2021. Região. Disponível em: <https://www.jornaladooeste.com.br/regiao/quase-20-quilometros-de-estradas-rurais-recebem-melhorias/>. Acesso: junho 2022.
18. MELHORIAS de estradas rurais não param em Assis Chateaubriand. **Jornal do Oeste**. PR, 2 jun 2021. Disponível em: <https://www.jornaladooeste.com.br/regiao/melhorias-em-estradas-rurais-nao-param-em-assis-chateaubriand/>. Acesso: junho 2022.
19. NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Caracterização e Classificação Gerais de Solos para Pavimentação: Limitações do Método Tradicional, Apresentação de uma Nova Sistemática**. Anais da XV Reunião Anual de Pavimentação, ABPv. Belo Horizonte, MG. 1980.
20. BERNUCCI, Liédi Légi Bariani. **Considerações sobre o Dimensionamento de Pavimentos Utilizando Solos Laeríticos para Rodovias de Baixo volume de Tráfego**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1995.
21. VILLIBOR, Douglas Fadul, ALVES, Driely Mariane Lancarovici. **Pavimentação de baixo custo para Regiões Tropicais: Projeto e Construção: novas considerações**. Florianópolis, 2019.
22. NOGAMI, J. S. e VILLIBOR, D. F. **Pavimentação de Baixo Custo com Solos Lateríticos**. São Paulo, 1995.
23. GUTIÉRREZ KLINSKY, Luis Miguel. **Proposta de reaproveitamento de areia de fundição em sub-bases e bases de pavimentos flexíveis, através de sua incorporação a solos argilosos**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

24. VILLIBOR, D. F. *et al.* **Pavimentos de Baixo Custo para vias urbanas, bases alternativas com Solos Lateríticos.** São Paulo, 2007.
25. VELOSO, Jean França et al. **Análise de solos tropicais para pavimentação da rodovia BR-163/PA/Analysis of tropical soils for paving the road BR-163/PA.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 53471-53493, 2020.
26. NERVIS, Leandro Olivio. **Estudo de revestimento primário para utilização em estradas vicinais da região de Santana do Livramento-RS.** 2010.
27. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de Pavimentação - IPR 719.** Rio de Janeiro, 2006.
28. VILLIBOR, D. F. *et al.* **Pavimentação de baixo custo para vias urbanas.** 2. ed. São Paulo: Arte e Ciência, 2009.
29. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002.** Brasília, 5 jul. 2022.
30. SANTOS, Joyce Oliveira, ARAÚJO, Carla Beatriz Costa de, AYRES, Thiago Moura da Costa. **Análise da Utilização de RCD em Obras de Pavimentação na Cidade de Fortaleza.** MIX Sustentável, [S.l.], v. 5, n. 3, p. 65-72, jul. 2019.
31. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação Rodoviária - Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço - NORMA DNIT 141/2010 - ES.** Rio de Janeiro, 2010.
32. BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação Rodoviária - Base estabilizada granulometricamente com Açobrita® - Especificação de serviço - NORMA DNIT 406/2017 - ES.** Rio de Janeiro, 2017.
33. ESTRADAS rurais recebem cascalhamento com agregado siderúrgico. **Site da Prefeitura Municipal de Alpercata.** 2021. Disponível em: <https://www.alpercata.mg.gov.br/detalhe-da-materia/info/estradas-rurais-recebem-cascalhamento-com-agregado-siderurgico/27223>. Acesso: julho 2022.
34. MOTTA, R.S. **Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentos de baixo volume de tráfego.** 2005, 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Paulo.
35. BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação Rodoviária - Concreto asfáltico reciclado em usina a quente - Especificação de serviço - NORMA DNIT 033/2021 - ES.** Rio de Janeiro, 2021.

36. GUARUJÁ, **DECRETO N° 14.839**. Disponible en: <https://leismunicipais.com.br/a1/sp/g/guaruja/decreto/2022/1484/14839/decreto-n-14839-2022-regulamenta-a-lei-n-4968-de-06-de-janeiro-de-2022-que-dispoe-sobre-a-obrigatoriedade-do-reaproveitamento-do-material-fresado-de-asfalto-raspa-nas-vias-publicas-nao-pavimentadas-do-municipio-e-da-outras-providencias>. Acceso: octubre 2022.
37. GOVERNO Municipal inicia aplicação de fresado de asfalto em estrada rural. **Site da Prefeitura de São Miguel do Iguçu**. Disponible en: <https://www.saomiguel.pr.gov.br/governo-municipal-inicia-aplicacao-de-fresado-de-asfalto-em-estrada-rural/>. Acceso: octubre 2022.
38. ASFALTO transformado é reaproveitado na recuperação de estradas. **Site da Prefeitura de Campos**. Disponible en: https://campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=69308 - Acceso: octubre 2022.
39. BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.
40. LARSEN, J. **Tratamento superficial na conservação e construção de rodovias**. Rio de Janeiro: ABEDA, 1985.
41. BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022. 750 p.: il. ISBN 978-85-69658-02-3.
42. BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Duplo** - Especificação de serviço. Norma DNIT 147/2012 - ES. Rio de Janeiro, 2012.
43. PRODUTORES investem R\$12 milhões em pavimentação de mais uma estrada do Oeste da Bahia. **Site BA de Valor**. 26 de julho de 2020. Disponible en: <https://badevalor.com.br/produtores-investem-r12-milhoes-em-pavimentacao-de-mais-uma-estrada-do-oeste-da-bahia/> - Acceso: octubre 2022.
44. PREFEITURA inicia trabalhos de pavimentação asfáltica TSD na avenida paralela a BR- 135. **Site da Prefeitura Municipal de São Desidério**. Disponible en: <https://saodesiderio.ba.gov.br/mais-noticias/prefeitura-inicia-trabalhos-de-pavimentacao-asfaltica-tsd-na-avenida-paralela-a-br-135/> - Acceso: octubre 2022.
45. MAIS de 65 quilômetros de estradas rurais da região de Loanda recebem melhorias. **Portal da cidade de Loanda**. 15 de abril de 2022. Disponible en: <https://loanda.portaldacidade.com/noticias/agronegocio/mais-de-65-quilometros-de-estradas-rurais-da-regiao-de-loanda-recebem-melhorias-3254>. Acceso: junio 2021.

46. PROGRAMA Melhor Caminho é iniciado em Dracena. **Site da Prefeitura de Dracena.** Disponible en: <https://www.dracena.sp.gov.br/portal/noticias/0/3/108893/programa-melhor-caminho-e-iniciado-a-todo-vapor-em-dracena>. Acceso: octubre 2022.
47. CAMINHOS do Vale: levando desenvolvimento e acesso às comunidades do Leste de Minas. **Blog da Usiminas.** 14 de agosto de 2020. Disponible en: <https://www.usiminas.com/blog/comunidade/mobiliza/>. Acceso: octubre 2022.
48. SÃO PAULO. Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Melhor Caminho. Disponible en: <https://www.agricultura.sp.gov.br/pt/melhor-caminho>. Acceso: octubre 2022.
49. ESTRADAS Rurais: governo de SP retoma Programa Melhor Caminho. **Portal da Alesp.** 21/10/2021. Disponible en: <https://www.al.sp.gov.br/noticia/?id=429929>. Acceso: octubre 2022.
50. AGREGADO Siderúrgico é usado em estradas rurais de Minas. **Site UaiAgro.** 21 de novembro de 2021. Disponible en: <https://uaiagro.com.br/agregado-siderurgico-e-usado-em-estradas-rurais-de-minas/>. Acceso: octubre 2022.
51. CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DO PARANÁ (CREA-PR). **O que é EBDM.** Disponible en: <https://agendaparlamentar.crea-pr.org.br/o-que-e-ebdm>. Acceso: octubre 2022.
52. MARINGÁ tem nove ‘carências’ municipais, apontam estudos de Entidades de Classe parceiras do Crea-PR. **Site do Jornal Noroeste.** 27 de outubro de 2020. Disponible en: <https://jornalnoroeste.com/pagina/regiao/maringa-tem-nove-carencias-municipais-apontam-estudos-de-entidades-de-classe-parceiras-do-crea-pr>. Acceso: octubre 2022.
53. EBDM - Ponta Grossa - Estradas rurais: conservação e sinalização. **Site O Paraná em Debate.** Agenda Parlamentar CREA – PR. Disponible en: <https://agendaparlamentar.crea-pr.org.br/download-ebdm/ponta-grossa/ebdm-ponta-grossa-estradas-rurais-conservacao-e-sinalizacao>. Acceso: julio 2023.
54. Obras do Patrulha Mecanizada vão acelerar com o final do período chuvoso no Oeste da Bahia. **Site Notícias Agrícolas.** 07 de abril de 2021. Disponible en: <https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/agronegocio/284737-obras-do-patrulha-mecanizada-va-acelerar-com-o-final-do-periodo-chuvoso-no-oeste-da-bahia.html>. Acceso: octubre 2022.
55. Patrulha trabalhando a mil. **Site da Abapa.** 2 de julho de 2021. Disponible en: <https://abapa.com.br/noticias/patrulha-trabalhando-a-mil>. Acceso: octubre 2022.
56. BUHLER, A. V. **Metodologias para avaliação das condições das estradas rurais no Brasil.** MBA Gestão do Agronegócio, UFPR, Curitiba, 2019.

57. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), INTERNATIONAL BANK FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT (IBRD). Road Monitoring Manual for Maintenance Management. Volume 1: Manual for Developing Countries. Paris, 1990.
58. ERREIRA, F. M. **Uma aplicação comparativa de métodos de avaliação das condições superficiais de estradas não-pavimentadas**. Campinas: UNICAMP, 2004.
59. UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). TM 5-626 “Unsurfaced Road Maintenance Management”, Washington D.C., 1995.



**BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA
Y EL CARIBE**