



Graduação Pós-Graduação
 Artigo completo Relato de prática Resumo expandido

APLICAÇÃO DE ÍNDICE FUNCIONAL RIA-UR SOBRE ESTRADA RURAL EM RESERVA DO IGUAÇU

Matheus do Prado Wolf
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
matheuswolf@utfpr.edu.br

RESUMO

As estradas não pavimentadas representam a maior parcela da malha viária brasileira e desempenham papel fundamental no escoamento da produção agropecuária e na mobilidade em áreas rurais. No entanto, sua gestão ainda é frequentemente realizada de forma reativa, em função da ausência de métodos objetivos e contínuos de avaliação funcional. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo aplicar o índice RIA-UR (*Road Index by Accelerometer for Unpaved Roads*) em uma estrada rural localizada no município de Reserva do Iguaçu-PR, conectando propriedades rurais à rodovia PR-459. O método baseia-se na coleta de dados de aceleração por meio de acelerômetro acoplado a um sistema de reboque instrumentado, sendo os sinais processados para obtenção dos valores RMS e classificação funcional da via. Os resultados indicaram uma aceleração média de $23,56 \text{ m/s}^2$, classificando a via, de forma global, como “Regular”, porém com elevado desvio padrão ($10,14 \text{ m/s}^2$), evidenciando heterogeneidade ao longo do percurso. Por meio de ferramentas de geoprocessamento, identificou-se um trecho contínuo com condição inadequada correspondente a aproximadamente 30% da extensão (837,6 m), enquanto cerca de um terço das seções apresentava comportamento regular a ótimo. Conclui-se que o índice RIA-UR permite identificar intervenções necessárias, evidenciando que não há justificativa de manutenção generalizada, mas sim a adoção de ações localizadas, otimizando a gestão de recursos públicos.

Palavras-chave: Estrada não pavimentada, gestão viária, acelerações, RIA-UR, SIG.



1 INTRODUÇÃO

As vias não pavimentadas são caracterizadas pela ausência de estratos estruturais, sendo constituídas pelo subleito, com superfície do solo original ou material granular (DNIT, 1997). Periodicamente exigem que intervenções sejam executadas para readequar a condição fornecida pela estrada ou rua como nivelamento ou dispersão de revestimento primário, como o cascalho (dos Santos *et al.*, 2019; FHWA, 2015). No contexto brasileiro, essas vias representam a maior parcela da malha viária, sendo que, segundo levantamento da Confederação Nacional de Transportes (CNT), aproximadamente 78,5% das estradas nacionais são não pavimentadas (CNT, 2024).

O percentual elevado de infraestrutura não pavimentada é alarmante ao considerar que grande parte da produção agropecuária nacional depende das estradas para o escoamento logístico, especialmente no transporte de produtos de primeira necessidade (CNA, 2017). É notado, então, que a qualidade dessas estradas está diretamente associada ao desempenho econômico regional, à acessibilidade e ao bem-estar da população (Wendland, 2025).

A gestão e a manutenção das vias não pavimentadas, em geral, estão sob responsabilidade das administrações municipais, que frequentemente enfrentam limitações relacionadas ao contingente de pessoal, à disponibilidade de recursos e à capacitação técnica (dos Santos *et al.*, 2019). Como consequência, as ações de Manutenção e Reabilitação (M&R) tendem a ser realizadas de forma reativa, muitas vezes orientadas por pressões sociais ou interesses políticos, em detrimento de critérios técnicos sistematizados.

Nesse contexto, a gestão eficiente da malha viária requer a utilização de ferramentas que permitam a avaliação funcional das vias, possibilitando a identificação de trechos prioritários para manutenção com base em critérios técnicos e no impacto socioeconômico associado (da Silva *et al.*, 2024). Os índices funcionais são cruciais nesse processo, ao indicarem, em escalas quantitativas, condições relacionadas à conforto, segurança e economia ao usuário, além do nível de irregularidade e estado de conservação da via. No entanto, muitos dos métodos de avaliação ainda apresentam significativa dependência da intervenção humana, seja por meio de avaliações subjetivas ou pela necessidade de interpretação direta dos dados coletados. Essa dependência pode introduzir variabilidade e comprometer a reprodutibilidade dos resultados.

O intervalo dos anos de 2024 a 2025 foi desenvolvido o índice RIA-UR (*Road Index by Accelerometer – Unpaved Roads*) o qual se propõe a não possuir interferência de subjetividade nas avaliações funcionais, ser rápido de execução e econômico (Wolf, 2026). O método utiliza-

se de reboque do tipo carretinha para leituras de aceleração RMS em cada segundo para avaliar a condição funcional de vias não pavimentadas em Guarapuava – Paraná. O estudo foi realizado sobre ruas não pavimentadas de Guarapuava e se apresentou relevante para análise da condição atual, evolução e tomada de decisão em relação a M&R. Este trabalho possui como objetivo aplicar o índice RIA-UR sobre uma estrada rural, que liga propriedades rurais de Reserva do Iguaçu, que realizam seu escoamento agropecuário pela estrada de terra, e a rodovia PR-459. Como objetivos específicos:

- Verificar a média de aceleração resultante no percurso na estrada rural para classificá-la de maneira global;
- Realizar a classificação das seções obtidas ao longo do percurso na estrada
- Avaliar a continuidade de trechos de qualidade inadequada para apontar de maneira eficaz ações de manutenção e reabilitação.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é discutido a importância da infraestrutura não pavimentada, os índices funcionais de avaliação de pavimentos e vias não pavimentadas, a relação da qualidade funcional com as vibrações e, por fim, apresentado, o método RIA-UR utilizado no estudo.

2.1 VIAS NÃO PAVIMENTADAS

As vias podem ser classificadas, de forma geral, em pavimentadas e não pavimentadas. As primeiras possuem camada estrutural para solicitação de esforços, com materiais tratados, (como concreto e asfalto) ou não (pavimento por pedra irregular). Estas vias possuem, assim, uma superfície semi-permanente, durável para um horizonte de projeto de no mínimo 10 anos. Já as vias não pavimentadas são constituídas por materiais não perenes, mais sensíveis à ação climática e sujeitos ao carreamento pela ação ambiental (FHWA, 2015).

Em diferentes contextos internacionais e técnicos, essas vias recebem terminologias distintas, muitas vezes utilizadas como sinônimos. É o caso de estradas vicinais, estradas de baixo volume de tráfego (EBVT) e estradas não ligadas. O termo “estradas vicinais” enfatiza sua função no meio rural, já as “EBVT” destaca o baixo volume diário médio (VDM) de veículos e, por fim, as “estradas não ligadas” refere-se à ausência de materiais estabilizados ou tratados em sua composição. Na maioria dos casos, essas denominações referem-se ao mesmo

tipo de infraestrutura viária (ARRB, 2020; dos Santos *et al.*, 2019; ERA, 2016).

Além de sua relevância para o escoamento da produção agropecuária, essas vias desempenham papel fundamental na integração territorial e no acesso a serviços essenciais. Em muitas regiões, especialmente em áreas afastadas ou socialmente vulneráveis, as vias não pavimentadas constituem o principal meio de acesso da população a serviços como saúde, educação e trabalho. Conforme destacado por Mbabazi (2019), a precariedade dessas vias eleva os custos de operação dos veículos, dificulta o acesso a direitos básicos e contribui para o aprofundamento das desigualdades sociais.

2.2 ÍNDICES FUNCIONAIS DE AVALIAÇÃO VIÁRIA

A gestão eficiente de redes viárias depende da utilização de índices funcionais capazes de representar, de forma quantitativa, a condição de serviço das vias. Esses índices são fundamentais para subsidiar decisões relacionadas à manutenção, reabilitação e priorização de investimentos.

A realização periódica dessas avaliações é indispensável para acompanhar a evolução das condições das vias ao longo do tempo e garantir respostas adequadas às necessidades da população (Adu *et al.*, 2023), além de constituir um instrumento fundamental para o desenvolvimento comunitário (Senna, 2014).

Para vias pavimentadas, destacam-se índices consolidados como o *International Roughness Index* (IRI), o Índice de Gravidade Global (IGG) e o *Pavement Condition Index* (PCI). O IRI, por exemplo, baseia-se na medição da irregularidade longitudinal da via e é amplamente utilizado em sistemas de gerência de pavimentos (Huang *et al.*, 2024).

Entretanto, a aplicação desses índices em vias não pavimentadas apresenta limitações, uma vez que essas vias possuem maior variabilidade superficial e comportamento consideravelmente distinto. Dessa forma, foram desenvolvidos métodos específicos para esse tipo de infraestrutura, como o *Unpaved Road Condition Index* (URCI) e o PASER Gravel.

O URCI baseia-se na quantificação de defeitos superficiais, por meio da identificação e mensuração de profundidade e área por um avaliador (Eaton *et al.*, 1987), enquanto o PASER Gravel utiliza avaliação visual qualitativa (PASER, 2015). Apesar de sua aplicabilidade, ambos os métodos apresentam limitações relevantes, especialmente relacionadas à dependência da avaliação humana, à descontinuidade das medições e ao tempo elevado de execução em campo.

Nesse contexto, observa-se a necessidade no desenvolvimento de métodos baseados em

medições instrumentadas, visando reduzir a subjetividade, aumentar a reprodutibilidade e permitir avaliações contínuas ao longo das vias.

2.3 VIBRAÇÕES E RELAÇÃO COM A QUALIDADE FUNCIONAL

A irregularidade superficial das vias está diretamente associada à geração de vibrações no sistema veículo–condutor. Essas vibrações correspondem a oscilações mecânicas em torno de uma posição de equilíbrio, sendo descritas principalmente por sua amplitude e frequência.

A avaliação das vibrações tem sido amplamente utilizada como indicador de segurança e higiene no trabalho para operadores em vias, uma vez que representa o efeito direto das irregularidades sobre o usuário. Nesse contexto, a ISO 2631-1 (1997) estabelece critérios para avaliação da exposição humana a vibrações de corpo inteiro, sendo referência internacional para análise de conforto, percepção e possíveis efeitos à saúde. Em território nacional, a Norma de Higiene Ocupacional 09 – NHO 09 é a normativa vigente (Fundacentro, 2013), em muitos aspectos similar a ISO 2631-1

Os acelerômetros destacam-se como instrumentos adequados para avaliação de operações sob vibrações, pois permitem a medição direta da aceleração em três eixos ortogonais. A partir dos sinais obtidos, utiliza-se frequentemente o valor RMS (*root mean square*), que representa a intensidade efetiva da vibração ao longo do tempo e está diretamente associado ao nível de desconforto percebido.

Além disso, a análise no domínio da frequência, por meio da Transformada de Fourier, permite identificar os tipos de irregularidades presentes na via (Osgood, 2007). Frequências mais baixas estão associadas a defeitos de maior comprimento de onda, como afundamentos, enquanto frequências mais elevadas refletem descontinuidades superficiais menores (Huang, 2004).

Entretanto, fatores como velocidade do veículo, características da suspensão e condições operacionais influenciam significativamente os valores medidos, o que reforça a necessidade de padronização nos procedimentos de coleta para garantir a confiabilidade e comparabilidade dos resultados (Ribas *et al.*, 2014).

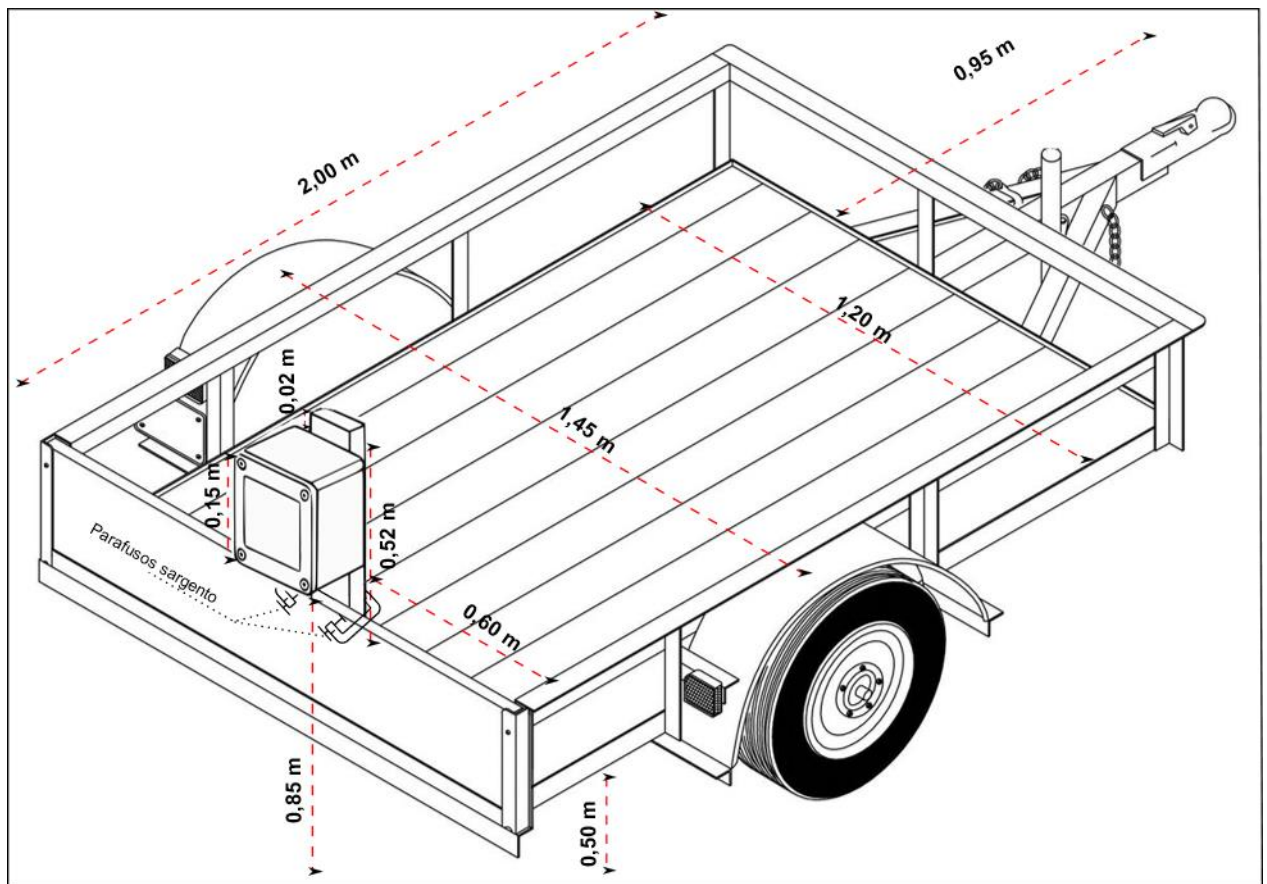
2.4 RIA-UR

O índice RIA-UR (*Road Index by Accelerometer for Unpaved Roads*) foi desenvolvido

com o objetivo de fornecer uma ferramenta objetiva, contínua e de baixo custo para avaliação funcional de vias não pavimentadas. O método baseia-se na utilização de dados de aceleração obtidos por meio de acelerômetro, sendo possível utilizar o acelerômetro do próprio celular, o que torna mais prática a interface ao usuário e envio dos dados. Desde que executado de maneira sistematizada, não requer que profissional especializado execute a aferição da via (Wolf, 2026).

Uma das principais características do método é a utilização de um sistema de reboque instrumentado, do tipo carretinha, acoplado ao veículo. É nesse acompanhamento que se dispõe o acelerômetro para gravação das acelerações registradas durante o percurso na via (Wolf, 2026). A Figura 1 ilustra a carretinha tipo para execução do índice.

Figura 1: Carretinha padrão para execução do índice RIA-UR



Fonte: (Wolf, 2026)

A escolha de utilizar uma carretinha para receber o acelerômetro e medir as vibrações transmitidas da via a carretinha visa reduzir a interferência da suspensão veicular nas medições, visto que a carretinha possui um sistema de suspensão simplificado, proporcionando maior sensibilidade às irregularidades da superfície. Além disso, é mais fácil de obtenção do que um

tipo específico de veículo ou equipamentos específicos para avaliação funcional, como o perfilômetro do IRI (Wolf, 2026).

A operação padrão do índice funcional é, já com o acelerômetro gravando medidas de aceleração (se optado usar o disposto em celular, sugere-se a utilização do aplicativo *Phyphox*), realizar a direção do início ao fim do trecho a uma velocidade de 30 km/h, em decorrência que as vibrações aferidas são diretamente proporcionais a velocidade que se trafega. Os dados de aceleração registrados ao longo do deslocamento são processados para obtenção dos valores RMS em cada segundo nos três eixos que se mede aceleração e posteriormente é feito a soma resultante dos três eixos em um valor apenas por segundo (Wolf, 2026). Em relação a aceleração resultante, possui a classificação de estado por meio da Tabela 1.

Tabela 1: Classificação em cinco estados do RIA-UR

Estado	Aceleração resultante (a) - (m/s ²)
Ótimo	$a < 18,00$
Bom	$18,00 \leq a < 22,50$
Regular	$22,50 \leq a < 27,00$
Ruim	$27,00 \leq a < 31,50$
Péssimo	$31,50 \leq a$

Fonte: Wolf (2026)

Há também a classificação progressiva, a qual permite segmentar em mais níveis o estado de uma via não pavimentada, identificando qual estado seguinte estaria mais próximo sua classificação. Isto permite priorizar de maneira mais adequada vias que se encontram em um mesmo estado e verificar a evolução de uma via, seja na deterioração ou reabilitação da mesma (Wolf, 2026). A Tabela 2 apresenta a classificação em questão, a qual emprega no estado final da via ou seção uma nomenclatura dupla.

**Tabela 2: Classificação Progressiva RIA-UR**

Estado Primário	Aceleração resultante (a) - (m/s ²)	Divisão no intervalo de aceleração (m/s ²)	Estado Primário e Secundário (quando há)
Ótimo	a < 18,00	a ≤ 15,75	Ótimo
		15,75 < a < 18	Ótimo-Bom
Bom	18,00 ≤ a < 22,50	18,00 ≤ a < 20,25	Bom-Ótimo
		a = 20,25	Bom
		20,25 < a < 22,50	Bom-Regular
Regular	22,50 ≤ a < 27,00	22,50 ≤ a < 24,75	Regular-Bom
		a = 24,75	Regular
		24,75 < a < 27,00	Regular-Ruim
Ruim	27,00 ≤ a < 31,50	27 ≤ a < 29,25	Ruim-Regular
		a = 29,25	Ruim
		29,25 < a < 31,50	Ruim-Péssimo
Péssimo	31,50 ≤ a	31,50 ≤ a < 33,75	Péssimo-Ruim
		33,50 ≤ a	Péssimo

Fonte: Wolf (2026)

Como se pode nota pela Tabela 2, há valores em que não é passível receber um segundo nome no estado da via ou seção avaliada: ou por se encontrarem exatamente no centro do intervalo dos estados intermediários ou em razão de, nos estados das extremidades (ótimo e péssimo), o valor relativo a metade de um intervalo ser ultrapassado pela aceleração medida. De forma geral, a classificação progressiva é indicada para utilizar quando se necessita distinguir vias dentro de um mesmo grupo principal, para definir cronograma de M&R e indicar mais periodicidades de serviços e verificar conservação gradual dentro de uma mesma estrada (Wolf, 2026).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A estrada da Igreja São José a qual liga propriedades rurais de Reserva do Iguaçu a PR-459, dotada de 2.792 metros de extensão, foi o objeto de aplicação do RIA-UR neste estudo. Por se tratar de um caminho que liga a produção agropecuária diretamente a rodovia pavimentada, é um elemento interessante para avaliar a qualidade de uma via coletora, que recebe maior tráfego de veículos. Entre os usuários locais, é reconhecida como uma via de boa qualidade funcional de maneira geral.

A execução do índice funcional RIA-UR procedeu como relatado no referencial teórico com a pequena diferença que se trafegou com velocidade entre 30 km/h a 40 km/h para verificar as medições de possíveis pontos deteriorados e como refletiria em uma classificação média da estrada. Foi realizada concomitantemente a medição de acelerações na estrada a gravação do

percurso para verificar se os resultados estavam coerentes com o observado, se não havia ocorrido uma descalibração, o que não ocorreu.

A respeito de Reserva do Iguaçu, o município está localizado na região centro-sul do estado do Paraná, a aproximadamente 350 km da capital Curitiba, conforme Figura 2. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), o município possui população em torno de 7 mil habitantes, apresentando baixa densidade populacional e forte dispersão territorial. A economia local é predominantemente rural, com destaque para a produção de grãos, especialmente soja e milho, além da pecuária.

Figura 2: Disposição de Reserva do Iguaçu-PR em relação ao Brasil e Curitiba (capital do estado)

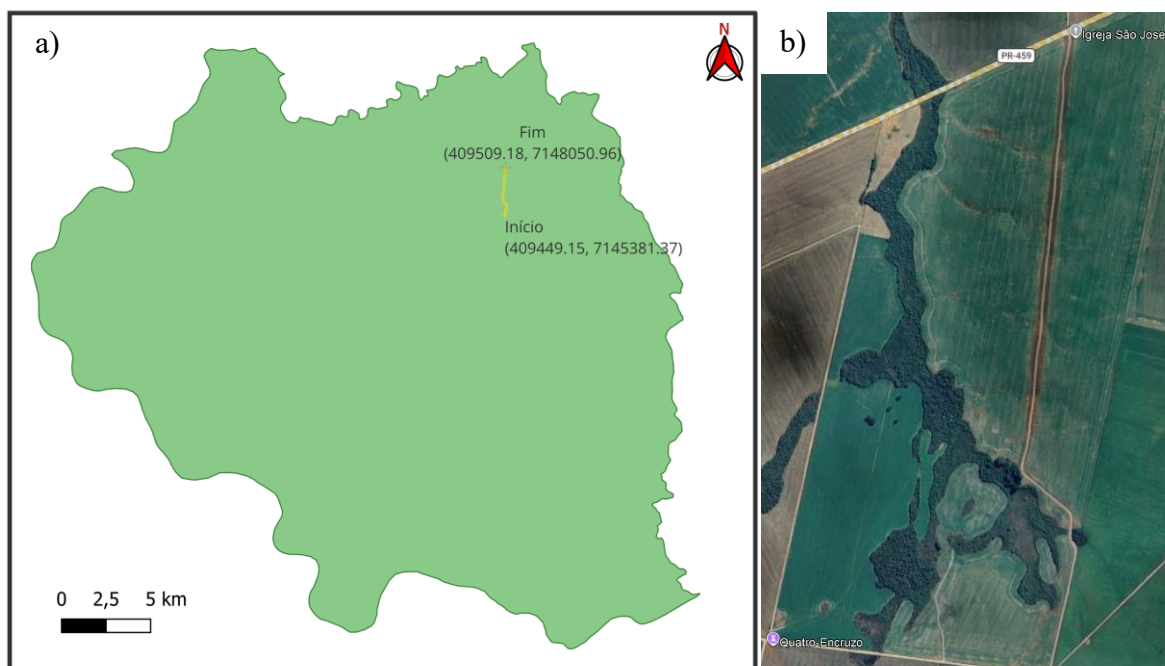


Fonte: Autoria própria

Nesse contexto, o município mostra-se adequado ao contexto do estudo, uma vez que a predominância de áreas rurais implica a existência de uma malha viária majoritariamente não pavimentada, responsável por conectar propriedades agrícolas, comunidades locais e eixos rodoviários principais. A qualidade dessas vias influencia diretamente no desenvolvimento econômico regional, a mobilidade da população e o desenvolvimento regional como um todo. A Figura 3 apresenta a estrada em relação a Reserva do Iguaçu e imagem de satélite identificando rodovia entre outros pontos do entorno.

Dessa forma, torna-se fundamental a avaliação funcional das estradas que permitam identificar trechos prioritários para manutenção, contribuindo para uma gestão mais eficiente da infraestrutura viária e para a melhoria das condições de acessibilidade e escoamento produtivo no município. Evita-se também a reabilitação de estradas ou até pavimentação orientado pelo apelo popular, identificando de maneira imparcial a condição dos caminhos.

Figura 3: a) Estrada no território de Reserva de Iguaçu e b) Entorno da estrada em satélite



Fonte: Autoria própria e adaptado do Google Earth

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados de aceleração foram processados, totalizando 270 conjuntos, cada conjunto é relativo ao intervalo de tempo de um segundo em que é feito o RMS da aceleração x, RMS da aceleração y, RMS aceleração z e vetor resultante da soma das acelerações. O valor médio da

estrada assim como seu desvio padrão e fração que o desvio padrão representa da média são apresentados na Tabela 3.

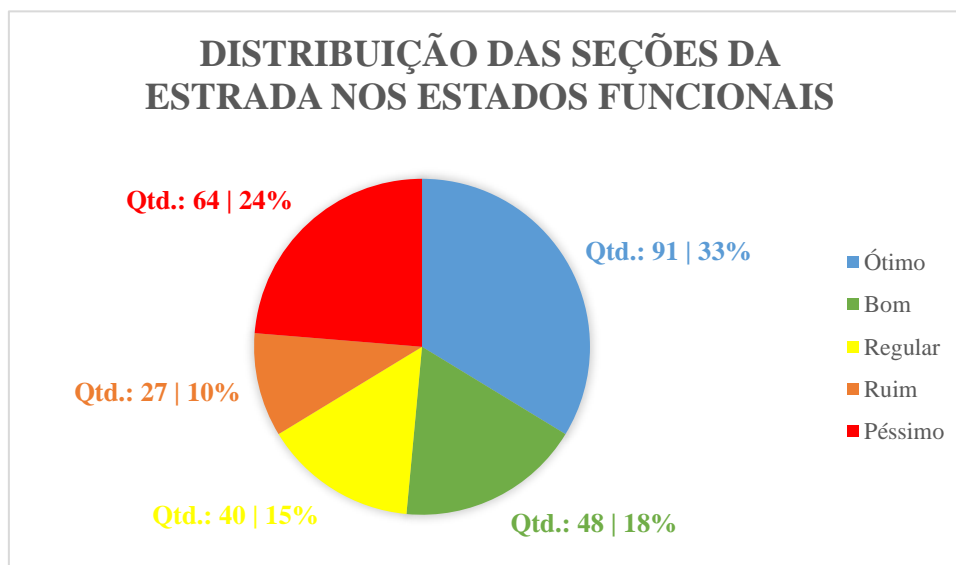
Tabela 3: Resultados Estatísticos dos dados coletados

Aceleração resultante média	Desvio Padrão	Parcela desvio padrão/aceleração resultante média
(m/s ²)	(m/s ²)	(%)
23,56	10,14	43

Fonte: Autoria Própria

Contrapondo os intervalos de classificação da qualidade funcional de vias não pavimentadas contidos na Tabela 1 com o resultado médio obtido para a Estrada São José na Tabela 3, observa-se que a mesma, de maneira geral, se classifica no estado “Regular”. No entanto, o desvio padrão encontrado é significativo, representando heterogeneidade alta no conjunto. Desta maneira, classificou as 270 seções e obteve-se a distribuição apresentada na Figura 4.

Figura 4: Distribuição da classificação das seções aferidas no índice RIA-UR

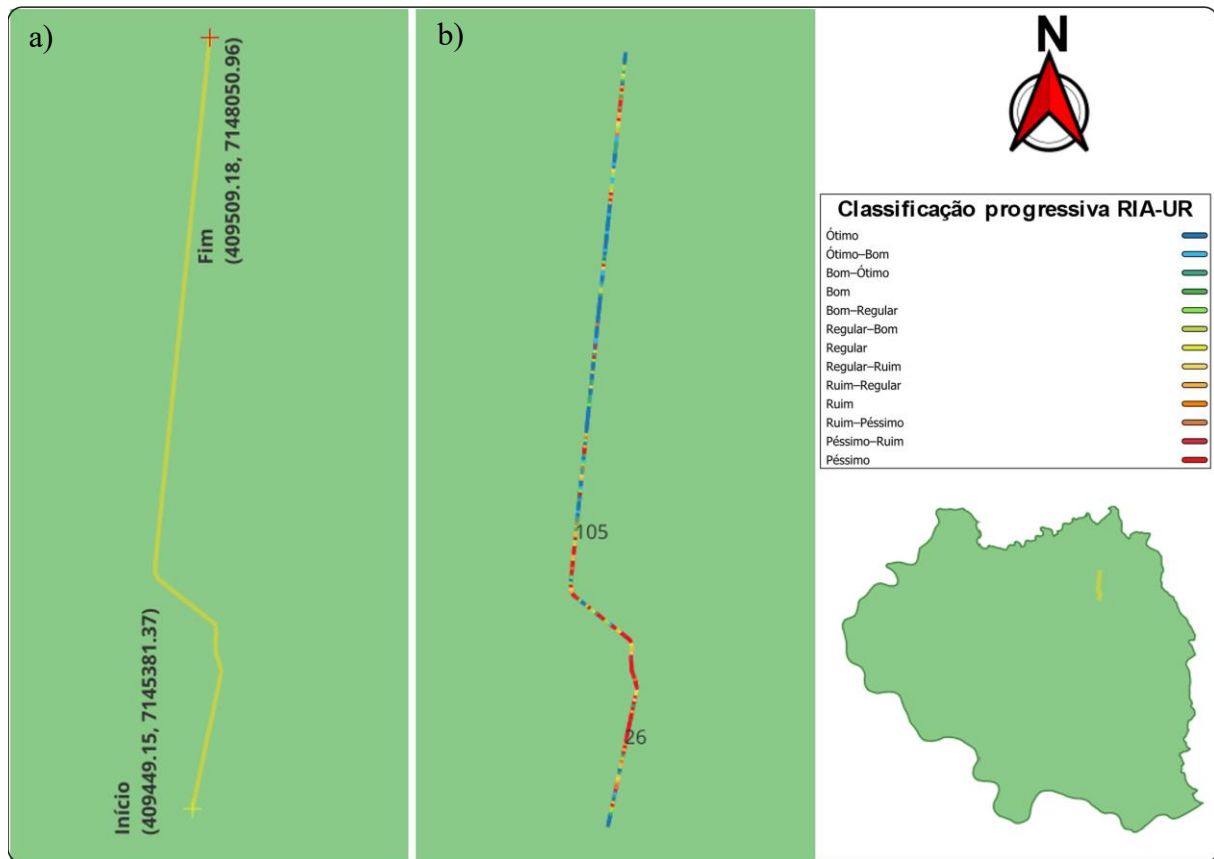


Fonte: Autoria própria

Aproximadamente 34% da extensão da estrada apresenta condição inferior a regular, indicando a presença de trechos críticos. Por outro lado, mais de 50% da via foi classificada como “Ótimo” ou “Bom”, evidenciando boa qualidade funcional em parte significativa do percurso, ainda mais se considerado que 33% é somente “Ótimo”. Se contrapor então com a classificação progressiva, Tabela 2, a estrada se classifica como “Regular-Bom”, o que intensifica que essa infraestrutura se apresenta acima da média e que possivelmente as seções

péssimas tiveram resultados muito altos para fornecer desvio padrão representativo de heterogeneidade e que a mesma, apesar de mais da metade das seções serem de qualidade “Ótimo” ou “Bom” apresenta classificação média de Regular. Com isso, foram classificadas cada seção e apresentando-se o resultado em mapa a partir da Figura 5 que traz previamente a estrada segundo sua classificação global média e então seção a seção. Recordando que as unidades estão em UTM (*Universal Transversa de Mercator*) no sistema SIRGAS 2000 no fuso 22J.

Figura 5: Mapas Estrada São José: a) condição média Regular-Bom; b) condição das seções ao longo da estrada



Fonte: Autoria própria

Como se nota na Figura 5, os trechos com estados primários “Péssimo” e “Ruim” se encontram no intervalo de seções 25-105. Cada seção tem 10,34 metros, o que totaliza um trecho para serviços de manutenção de 837,6 metros, representando 30% da estrada. Há seções distribuídas fora deste intervalo, mas visando a aplicação que traga retorno e justifique economicamente a reabilitação, seria no trecho, que apresenta comportamento homogeneamente inadequado.



5 CONCLUSÕES

A aplicação do índice RIA-UR em uma estrada rural do município de Reserva do Iguaçu-PR permitiu avaliar de forma objetiva a condição funcional da via média e contínua da via, evidenciando a heterogeneidade ao longo de sua extensão. Os resultados indicaram que, embora a via apresente, de forma geral, classificação funcional “Regular”, há significativa variabilidade nos dados, expressada por um elevado desvio padrão de 43%, refletindo a coexistência de trechos com diferentes níveis de conservação. Observou-se que aproximadamente 34% da extensão da estrada apresenta condição inferior a regular, caracterizando segmentos críticos que demandam intervenção prioritária.

A identificação de um trecho contínuo de aproximadamente 837,6 metros em condição inadequada reforça a aplicabilidade do método para apoio à tomada de decisão da gestão, permitindo direcionar ações de manutenção e reabilitação de forma mais eficiente e economicamente justificável. Por outro lado, destaca-se que cerca de dois terços da via apresentam condição funcional adequada, com aproximadamente dois quilômetros homogeneamente adequados, sem trechos de baixa qualidade funcional contínua. Evidenciando ainda a consideração popular de uma estrada em boa condição, 33% da mesma está em nível “Ótimo”. Evidências que permitem afirmar que não há justificativa técnica para a realização de intervenções generalizadas ao longo de toda a estrada, sendo mais apropriada a adoção de estratégias localizadas de manutenção, concentradas nos trechos críticos identificados.

A análise também evidenciou a influência da velocidade de operação sobre os valores de aceleração obtidos, indicando a necessidade de padronização das condições de coleta para aplicações comparativas do índice, retomando a discussão sobre o elevado desvio padrão.

Dessa forma, o índice RIA-UR demonstrou ser uma ferramenta promissora para avaliação funcional de vias não pavimentadas, especialmente em contextos municipais, ao possibilitar medições rápidas, objetivas e de baixo custo. Sua aplicação contribui diretamente para a otimização do uso de recursos públicos, ao permitir intervenções mais precisas, evitando investimentos desnecessários em trechos que já apresentam desempenho satisfatório.



REFERÊNCIAS

ADU, Welbeck Oppong; DUMEDAH, Gift; ADAMS, Anum Charles. Surface condition assessment of unpaved roads through the use of unmanned aerial vehicle. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2023.

ARRB. Australian Road Research Board. Guide 2: Best practice for unsealed roads. Vermont South, VIC: ARRB, 2020.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). Escoamento da produção é o maior gargalo para o agronegócio. 2017. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/escoamento-da-producao-e-o-maior-gargalo-para-agronegocio>. Acesso em: 29 mar. 2026.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Pesquisa CNT de Rodovias 2024. Brasília: CNT, 2024. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/cbf59b9e-fd1a-41fc-b230-172c4dc42100>. Acesso em: 14 mar. 2026.

DA SILVA, W. O. P.; FARIAS, B. A.; MONTEIRO, I. B.; PEGORINI, V.; CASANOVA, D.; BISCONSINI, D. R. Development of global quality index of unpaved roads. *Journal of Construction Engineering and Management*, v. 150, p. 04023147-1–04023147-13, 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Glossário de termos técnicos rodoviários. Brasília: DNIT, 2017.

DOS SANTOS, Álvaro Rodrigues; PASTORE, Eraldo Luporini; JUNIOR, Fernando Augusto; CUNHA, Márcio Angelieri. Manual técnico para conservação e recuperação de estradas não pavimentadas. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

EATON, R. A. et al. Unsurfaced road maintenance management. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers, 1987.

ETHIOPIAN ROADS AUTHORITY (ERA). Design manual for low volume roads – Part A: Introduction to low volume road design. Etiópia: ERA, 2016.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). Gravel roads: construction & maintenance guide. Washington, DC: U.S. Department of Transportation, 2015. Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/construction/pubs/ots15002.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.

FUNDACENTRO. Norma de Higiene Ocupacional NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro. São Paulo: Fundacentro, 2013.

HUANG, Li-Ling et al. Developing pavement maintenance strategies and implementing management systems. *Infrastructures*, Basel, v. 9, n. 7, p. 101, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures9070101>. Acesso em: 18 jun. 2025.

HUANG, Y. H. Pavement analysis and design. 2. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice



Hall, 2004.

ISO. International Organization for Standardization. ISO 2631-1:1997 – Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Geneva: ISO, 1997.

MBABAZI, R. Impact of unpaved road condition on rural transport. ICE Municipal Engineer, v. 172, n. 4, p. 191–198, 2019. Disponível em: [https://www.research4cap.org/wp-content/uploads/ral/Mbabazi-UNRA-2019-ImpactUnpavedRoadConditiononRuralTransportICEMunicipalEngineer-Vol172\(4\)-191001.pdf](https://www.research4cap.org/wp-content/uploads/ral/Mbabazi-UNRA-2019-ImpactUnpavedRoadConditiononRuralTransportICEMunicipalEngineer-Vol172(4)-191001.pdf). Acesso em: 18 jun. 2025.

OSGOOD, B. Lectures on the Fourier transform and its applications. Stanford: Stanford University, 2007.

PASER. PASER manual: gravel roads. Madison: Wisconsin Transportation Information Center, 2015.

RIBAS, R. L.; SCHLOSSER, J. F.; FRANTZ, U. G.; FARIAS, M. S.; RODRIGUES, F. A. Exposição humana a vibrações de corpo inteiro em um trator agrícola com pneus radiais. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 44, n. 9, p. 1589–1595, set. 2014.

SENNA, Luiz Afonso dos Santos. Economia e planejamento dos transportes. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

WENDLAND, A. Precariedade de estradas vicinais gera perda de produtividade e prejuízos ambientais no Brasil. *Jornal da USP*, 2025. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-humanas/precariedade-de-estradas-vicinais-gera-perda-de-produtividade-e-prejuizos-ambientais-no-brasil/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

WOLF, Matheus do Prado. Desenvolvimento do índice funcional de vias não pavimentadas RIA-UR baseado no uso de acelerômetro em reboque do tipo carretinha. 2026. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2026.