



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



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

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE ÍNDICE DE IRREGULARIDADE INTERNACIONAL E O ÍNDICE DE GRAVIDADE GLOBAL

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

José Breno Ferreira Quariguasi¹; Camila Lima Maia²; José Levi Chaves³ & Francisco Heber Lacerda de Oliveira⁴

RESUMO

A avaliação de pavimentos é uma atividade fundamental para assegurar a segurança e o conforto ao rolamento. Dentre os parâmetros considerados na avaliação de pavimentos destacam-se o Índice de Irregularidade Internacional (IRI) e o Índice de Gravidade Global (IGG). Periodicamente devem ser realizadas atividades de avaliação do pavimento para auxiliar os gestores na tomada de decisão quanto a medidas de manutenção e reabilitação. Entretanto, para mensuração do IRI de forma produtiva e acurada são empregados equipamentos que demandam elevados recursos financeiros, o que pode inviabilizar sua obtenção por parte de algumas gestões públicas. Em função disso, esse estudo analisou a relação entre o IRI, o IGG e os defeitos utilizados como entrada para o cálculo do IGG para verificar se seria possível usar tais parâmetros como forma de explicar o IRI, na ausência de equipamento para sua medição. Para tanto, foram utilizados uma base de dados de 551km de uma rodovia federal que continha informações de IRI e, também, de defeitos do pavimento, bem como seu respectivo IGG. Foram realizados testes de normalidade na variável IRI e correlação entre esta e os demais parâmetros relativos ao IGG. A base também foi segregada em função da situação do Índice da Condição da Superfície e pelo ano de medição. Os resultados encontrados apontam que há uma relação direta entre o IRI e o IGG e seus defeitos constituintes. Contudo, trata-se de relações fracas, atingindo máximo de 0,407 na base geral e 0,489 no ano de 2017, ambos com o IGG. Dessa forma, indica-se mais estudos para viabilizar o uso do IGG e seus defeitos como forma de explicar o IRI.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema de Gerência de Pavimentos; conforto ao rolamento; funcional.

ABSTRACT

Pavement evaluation is a fundamental activity to ensure safety and comfort during rolling. Among the parameters considered in pavement evaluation, the International Roughness Index (IRI) and the Global Severity Index (IGG) stand out. Routine pavement evaluation activities should be carried out to assist managers in making decisions regarding maintenance and rehabilitation measures. However, the measurement of IRI productively and accurately requires equipment that demands significant financial resources, which may hinder its availability for some public administrations. Therefore, this study analyzed the relationship between IRI, IGG, and the defects used as input for calculating IGG to determine if it would be possible to use these parameters to explain IRI without equipment for its measurement. To this end, a 551 km federal highway database containing information on IRI, pavement defects, and their respective IGG was used. Normality tests were performed on the IRI variable and correlation analysis between IRI and other parameters related to IGG. The database was also segregated based on the Surface Condition Index situation and the measurement year. The results indicate a direct relationship between IRI and IGG and their constituent defects. However, these relationships are weak, reaching a maximum of 0.407 in the comprehensive database and 0.489 in 2017, both with IGG. Therefore, further studies are recommended to enable the use of IGG and its defects to explain IRI.

KEY WORDS: Pavement Management System; riding comfort; functional.



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

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

No Brasil, a avaliação de pavimentos é fundamental para garantir a segurança e conforto dos usuários, bem como para evitar prejuízos financeiros decorrentes de obras de manutenção corretivas e de recapeamento. Nesse contexto, o *International Roughness Index* (IRI) e o Índice de Gravidade Global (IGG) são dois importantes parâmetros utilizados para avaliar a qualidade e a condição dos pavimentos no país.

O IRI é um indicador utilizado para avaliar a qualidade do pavimento quanto à regularidade da superfície de rolamento. Dentre os equipamentos que podem ser empregados para sua medição, destaca-se o perfilômetro, que consiste em um sensor que percorre a superfície do pavimento e registra as irregularidades verticais (BENEVIDES E MOTTA, 2010). O IRI é expresso em metros por quilômetro (m/km) e representa a média da variação vertical do perfil do pavimento ao longo de uma distância de um quilômetro (BERNUCCI *et al.*, 2022). Quanto maior o valor do IRI, maior é a irregularidade do pavimento e, portanto, pior é a sua condição quanto ao conforto ao rolamento.

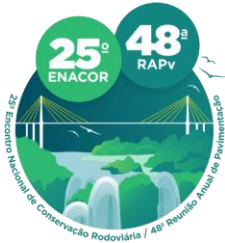
Por sua vez, IGG é um indicador funcional que leva em consideração a superfície de rolamento e os defeitos encontrados no pavimento, como a presença de trincas, panelas, remendos e desgaste. O IGG é expresso em uma classificação de Ótimo a Péssimo que representa a gravidade da condição do pavimento (DNIT, 2003a). Quanto maior o valor do IGG, pior é a condição do pavimento e, portanto, maior é a necessidade de intervenção.

Ambos os índices são importantes ferramentas para avaliar a qualidade e a condição dos pavimentos no Brasil, permitindo a identificação de trechos críticos que necessitam de reparos e intervenções. Além disso, esses índices são utilizados para planejar as ações de manutenção e reabilitação (M&R) dos pavimentos, contribuindo para a redução dos custos e para a melhoria da segurança viária.

A utilização desses índices na avaliação de pavimentos no Brasil é regulamentada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) que estabelece os critérios para a coleta e análise dos dados da avaliação, bem como os procedimentos para a interpretação dos resultados e a tomada de decisão. Desse modo, o IRI e o IGG são ferramentas essenciais para a avaliação da qualidade e da condição funcional dos pavimentos no país.

No entanto, existem diferenças técnicas e financeiras na aplicação dos parâmetros supramencionados. O equipamento utilizado para medição do IRI possui um custo elevado de aquisição e operação, que pode dificultar a sua obtenção. Por outro lado, o IGG necessita apenas de uma treliça de alumínio padronizada e equipamento auxiliar para localização e demarcação na pista das estações de avaliação, facilitando assim a sua execução.

Além disso, acredita-se haver uma relação entre o IRI e o IGG ou algum dos defeitos considerados em seu cálculo, Brasil (2016) compara os dois índices quanto aos níveis de conceitos atribuíveis, pois ambos tratam de aspectos relativos à condição da superfície do pavimento. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise exploratória de valores de IRI, IGG e alguns defeitos utilizados no cálculo do IGG de uma rodovia federal brasileira, entre os anos de 2014 e 2022, buscando estabelecer uma correlação entre esses parâmetros para aplicação em modelos de previsão.



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

www.rapvenacor.com.br



REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conhecimento da condição de superfície de um pavimento é fundamental para a tomada de decisão eficiente em relação à necessidade de manutenção e reabilitação (M&R) da sua infraestrutura, bem como ao método com o qual as intervenções devem ser executadas. Portanto, o diagnóstico correto das condições estruturais ou funcionais de um pavimento é considerada uma das etapas mais importantes em um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP) (GONÇALVES E ESPÍNDOLA, 2020).

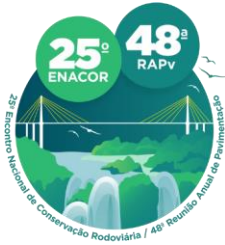
Dois parâmetros bastante utilizados para essa avaliação são o Índice de Irregularidade Internacional (IRI) e o Índice de Gravidade Global (IGG). Em relação ao IRI, o mesmo pode ser obtido por meio de diferentes equipamentos, como nível e mira, *dipstick*, MERLIN e perfilômetro inercial a laser, sendo esse último o mais ágil para ser utilizado em trechos longos de rodovia (FERNANDES *et al.*, 2018).

De acordo com Sayers e Karamihas (1998), o modelo matemático do IRI é denominado de quarto de carro e simula a passagem do veículo sobre o pavimento a uma velocidade de 80 km/h. Com isso, ao percorrer as irregularidades longitudinais, determina os valores de desvio vertical, sendo o resultado expresso em m/km ou mm/m. Entretanto, a operação e a manutenção do perfilômetro possuem custos relativamente elevados, dificultando a obtenção do IRI, uma vez que os demais métodos disponíveis, apesar de mais baratos, são muito demorados (FERNANDES *et al.*, 2018).

Por outro lado, levantamentos objetivos como o IGG são considerados como uma alternativa, sendo especificado por DNIT (2003a). Na execução do levantamento, uma equipe demarca as superfícies de avaliação e realiza um inventário de ocorrência de defeitos. Além disso, também são medidas as flechas de trilha de roda interna e externa. Com o resultado da avaliação, de acordo com o valor de IGG, é estabelecida a classificação funcional do pavimento em ótimo, bom, regular, ruim e péssimo (SALES *et al.*, 2019). Assim, de acordo com DNIT (2006), o efeito da irregularidade longitudinal é avaliado de forma indireta no cálculo do IRI e pode ser observado pela dispersão das flechas medidas nas trilhas de roda.

O IRI e o IGG se relacionam por meio do Índice de Condição de Superfície (ICS). O ICS varia de 1 a 5 e reflete a condição do pavimento, sendo 5 um estado ótimo e 1 um estado péssimo. Para a classificação do ICS são relacionadas faixas de valores correspondentes do IGG e do IRI, sendo atribuída a pior situação dos dois Índices. Vale ressaltar que o IGG quantifica e pondera os defeitos encontrados nos pavimentos, enquanto que o IRI representa o nível de conforto ao rolamento, dado pelo acúmulo dos desvios verticais (DNIT, 2021).

De acordo com DNIT (2006), o aumento da irregularidade é resultado de uma série de mecanismos de restauração, além de combinar os efeitos de vários tipos de defeitos. Portanto, não podem ser considerados como um efeito isolado, conforme ilustrado na Figura 1.



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

www.rapvenacor.com.br

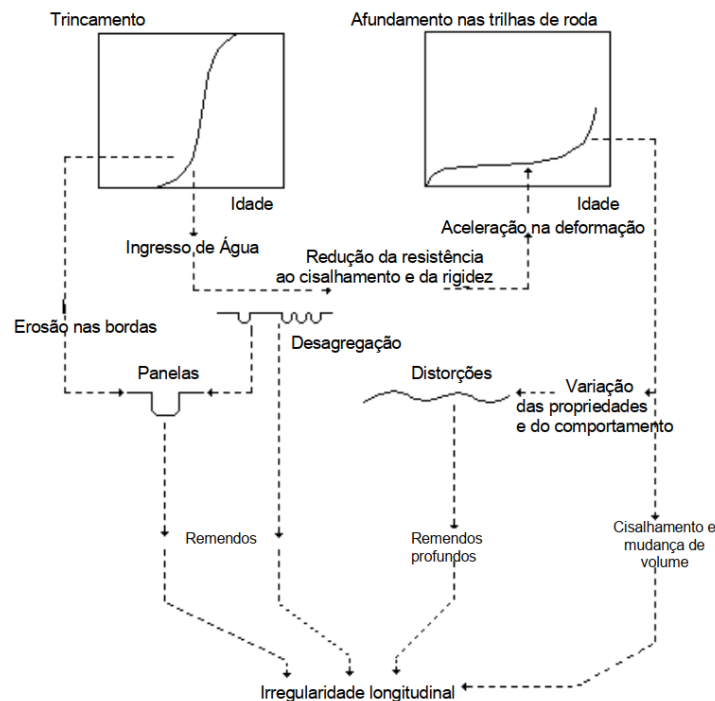


Figura 1. Interações entre os defeitos em rodovias pavimentadas (DNIT, 2006)

Algumas pesquisas foram desenvolvidas para estudar os diferentes índices utilizados na avaliação funcional de pavimentos como os trabalhos de Sayers *et al.* (1986), Sayers e Karamihas (1998), Vieira *et al.* (2016), Li *et al.* (2019), Gabriel e Verdade (2021) e Šroubek *et al.* (2021). Em relação as pesquisas sobre irregularidade longitudinal, Múčka (2017) estudou as especificações para obtenção do IRI em 35 estados dos EUA e em outros 29 estados de outros países.

O autor observou que os valores limites para o IRI são definidos em função do tipo de superfície do pavimento, da categoria funcional da estrada, do limite de velocidade da rodovia e do tipo de construção do pavimento ou volume diário médio anual de tráfego (VDMA). Ainda, foi constatado que a extensão utilizada na avaliação do IRI varia de vários metros até o comprimento total de uma seção. Foram observadas também grandes diferenças nos valores limites do IRI para o mesmo comprimento de segmento entre vários países.

No Brasil, o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006) recomenda que seja adotado o valor limite de $IRI \leq 3,5$ para sinalizar a necessidade de restauração do pavimento. As especificações brasileiras também utilizam o modelo matemático do quarto de carro, medido por meio do Quociente de Irregularidade (QI), sendo este altamente correlacionado com o IRI. Uma relação aproximada entre QI e IRI é dada por: $QI = 13 IRI$ (DNIT, 2006). Essa relação, porém, pode apresentar inconsistências e variações entre trechos.

Fernandes *et al.* (2018) compararam dados de IRI de uma rodovia estadual no Ceará, por meio de um aplicativo para *smartphone*, com os dados de Valor de Serventia Atual (VSA), que é um método subjetivo de avaliação funcional do pavimento (DNIT, 2003b). Os autores observaram que o trecho analisado estava em uma condição ótima a regular, segundo o VSA, e entre regular a ruim, segundo avaliação pelo IRI. Ademais, os autores obtiveram uma forte correlação entre os dois parâmetros.



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



Outro estudo foi realizado por Li *et al.* (2019), que desenvolveram um modelo de previsão de IRI baseado em lógica fuzzy usando mais de 20.000 amostras de dados de diferentes regiões para verificar a eficácia do método proposto. Os resultados obtidos mostraram que o método proposto pelos autores foi melhor se comparado a outras abordagens, como um modelo polinomial. O modelo gerado obteve uma raiz do erro médio quadrado (RMSE) de 0,191 e um erro relativo de 6,37%.

Gonçalves e Espíndola (2020) avaliaram a condição funcional das rodovias federais do estado do Ceará, analisando o seu estado de conservação, e estabeleceram um modelo de previsão de IRI para a rodovia em pior situação. Os resultados obtidos mostraram que a maioria das rodovias estavam em bom estado de conservação. A BR-122 não atingiu os critérios de bom estado e foi utilizada para calcular o modelo de previsão de IRI. Foram utilizadas como variáveis explicativas a quantidade de painéis, trincamento e flecha. O modelo resultou em uma correlação adequada.

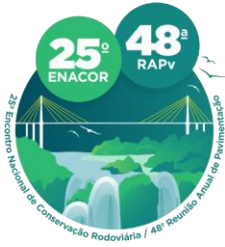
Farias *et al.* (2023) utilizaram um *smartphone* embarcado em um perfilômetro inercial e analisaram a correlação entre as medidas de aceleração vertical medida com o equipamento e o IRI. Os autores utilizaram um filtro passa-banda para filtrar velocidades muito baixas e muito altas, verificando um efeito positivo na correlação. Os resultados obtidos indicaram que a aplicação do filtro aumentou a correlação para levantamentos realizados a 40 e 60 km/h, e sem velocidade fixa.

Sales *et al.* (2019) estudaram a correlação entre o IGG e a deflexão característica de pavimentos de rodovias federais brasileiras com revestimento do tipo Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ). Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos a partir de relatórios do Contrato de Restauração e Manutenção (CREMA). Os resultados mostraram que foi possível estabelecer um modelo de previsão da deflexão característica de um pavimento, utilizando dados de IGG, com uma correlação adequada (0,84) e coeficiente de determinação de 0,70.

Por fim, Almeida *et al.* (2019) propuseram uma adaptação do IGG para pavimentos com revestimento em Tratamento Superficial por Penetração (TSP), que foi denominado de IGGTS. Para isso, os autores avaliaram os principais defeitos de TSP utilizando novos coeficientes de ponderação, capazes de melhor representar a sua gravidade. Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos em relatórios do CREMA. Os resultados da correlação entre o IGG e o IGGTS mostraram que os métodos são consideravelmente diferentes, sendo o IGGTS mais abrangente.

MÉTODO DE PESQUISA

Os dados utilizados neste estudo foram coletados entre 2014 e 2022 e obtidos por meio de relatórios disponibilizados pelo DNIT. Os dados de IRI foram mensurados por meio de perfilômetro inercial a laser. Os anos de 2016 e 2019, contudo, não constam na base de dados adotada. A Tabela 1 apresenta os dados que compõem essa base juntamente com sua estatística descritiva. Destaca-se que as variáveis estão representadas por suas frequências relativas, com exceção de IRI, IGG e flecha. Foram removidos alguns valores inconsistentes, tais como variáveis acima de 100% e duas observações de IRI iguais a zero e uma superior a 20 m/km.



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



Tabela 1. Estatística descritiva da base de dados (AUTOR, 2023)

| | IRI (m/Km) | IGG | Flecha (mm) | Panelas (%) | Desgaste (%) | FC1 (%) | FC2 (%) | FC3 (%) | Afundamento (%) | Escoreamento (%) | Exsudação (%) | Remendo (%) |
|--------------|---------------|--------|----------------|----------------|-----------------|------------|------------|------------|--------------------|---------------------|------------------|----------------|
| Observações | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 | 41.083 |
| Média | 2,45 | 50,69 | 6,77 | 2,12 | 2,42 | 0,14 | 14,71 | 3,11 | 0,80 | 0,53 | 0,30 | 2,85 |
| Desv. padrão | 1,00 | 41,97 | 3,03 | 9,74 | 10,45 | 2,58 | 27,20 | 12,87 | 7,84 | 5,75 | 4,56 | 11,07 |
| Mín. | 0,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 25% | 1,84 | 12,00 | 4,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 50% | 2,18 | 46,00 | 6,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 75% | 2,72 | 72,00 | 8,53 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 15,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Máx. | 13,33 | 358,00 | 43,49 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 |

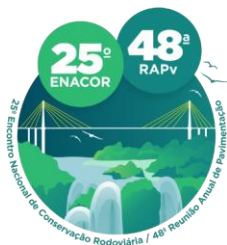
A base de dados conta com 41.083 observações referente a 551 km de rodovia, os quais estão segmentados em trechos de 100 m. Para o desenvolvimento da estatística descritiva foram utilizados a linguagem de programação *Python* 3.10.9 e a biblioteca *Pandas* 1.5.3.

Aplicou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk nos dados de IRI com o intuito de verificar qual o método de correlação mais adequado a ser empregado. Posteriormente elaborou-se uma matriz de correlação por meio do método de *Spearman* (ρ) em que também foram calculados seus respectivos p-valores. O método de *Spearman* é medida não-paramétrica utilizada para avaliar a relação monotônica entre duas variáveis.

Posteriormente, os dados foram segregados de duas formas. Na primeira, adotou-se a classificação de ICS como forma de agrupamento dos dados e, na segunda, os dados foram separados em função do ano de medição. Após esse processo de divisão, aplicou-se novamente os testes de correlação de *Spearman* entre as variáveis. Em seguida foram elaborados gráficos a fim de melhor detectar possíveis relações entre o IRI e essas variáveis. Para tanto, optou-se por estudar as variáveis que obtiveram ρ acima de 0,2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 explora a situação, em função do ICS, da rodovia ao longo dos anos. A Figura 3 exhibe dois histogramas da variável IRI. Percebe-se que os dados de IRI apresentam uma cauda acentuada à direita. Além disso, há uma predominância de observações em situação bom.



19 a 22 de Setembro de 2023

Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

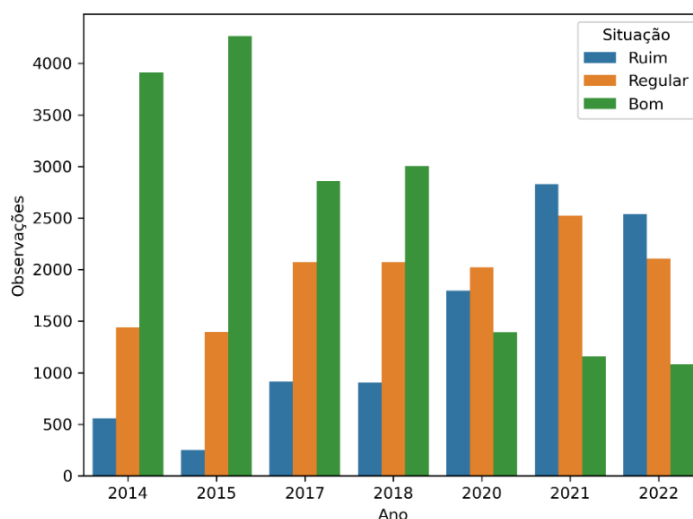


Figura 2. Situação da rodovia em função dos anos (AUTOR, 2023)

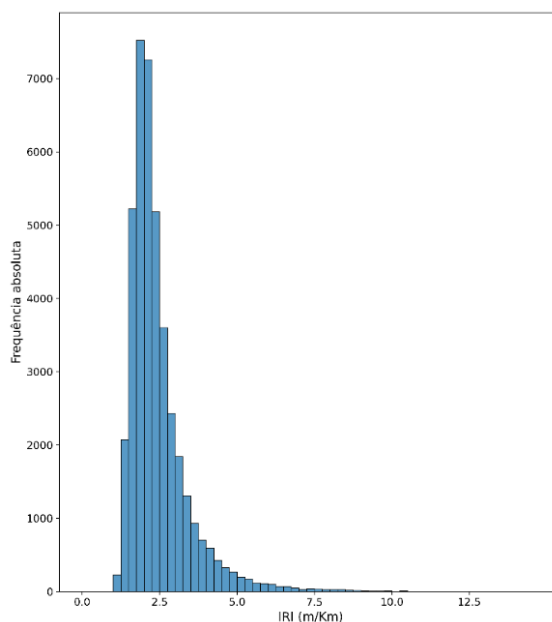
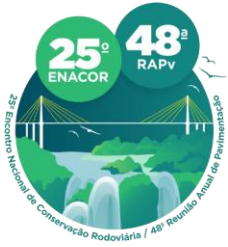


Figura 3. Histograma do IRI (AUTOR, 2023)

Percebe-se, por meio da Figura 2, que nos anos iniciais há uma prevalência da situação boa. Contudo, entre os anos de 2018 e 2020 há uma mudança significativa na predominância da situação da rodovia, pois regular passar a ser a situação com mais observações, e nos anos de 2021 e 2022 a situação ruim é a que mais prevalece.

Haja vista que a Figura 3 indica que a variável não segue uma distribuição normal, aplicou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk nos dados de IRI, considerando um nível de significância de 5%. Os resultados indicaram P-valor de zero, ou seja, pode-se rejeitar a hipótese nula de que o IRI segue uma distribuição normal. Em virtude disso, aplicou-se o método de *Spearman* para calcular a correlação das demais variáveis com o IRI. A Tabela 2 expõe os resultados de correlação de *Spearman* entre o IRI e as demais variáveis, bem como os P-valores para as respectivas correlações.



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



Tabela 2. Correlação entre o IRI e as demais variáveis (AUTOR, 2023)

| Variável | ρ | P-valor | Variável | ρ | P-valor |
|--------------|--------|-------------|--------------------|--------|-------------|
| IGG | 0,407 | 0 | Flecha (mm) | 0,075 | 3,7489E-52 |
| Remendo (%) | 0,390 | 0 | Escorregamento (%) | 0,053 | 5,2498E-27 |
| Desgaste (%) | 0,282 | 0 | Exsudacao (%) | 0,040 | 2,8725E-16 |
| FC3 (%) | 0,263 | 0 | Afundamento (%) | 0,021 | 1,64761E-05 |
| FC2 (%) | 0,164 | 3,5155E-244 | FC1 (%) | -0,019 | 0,000171784 |
| Panela (%) | 0,151 | 1,8768E-208 | - | - | - |

Todas as correlações apresentaram P-valor inferior a 0,05, sendo consideradas significativas devido ao nível de confiança adotado de 5%. Ainda pela Tabela 2 percebe-se que o IGG é a variável mais relevante com coeficiente de correlação de 0,407. Posteriormente, tem-se as variáveis remendo, desgaste e FC3. Nas Figura 4 e Figura 5 são expostos gráficos de dispersão entre essas variáveis e o IRI.

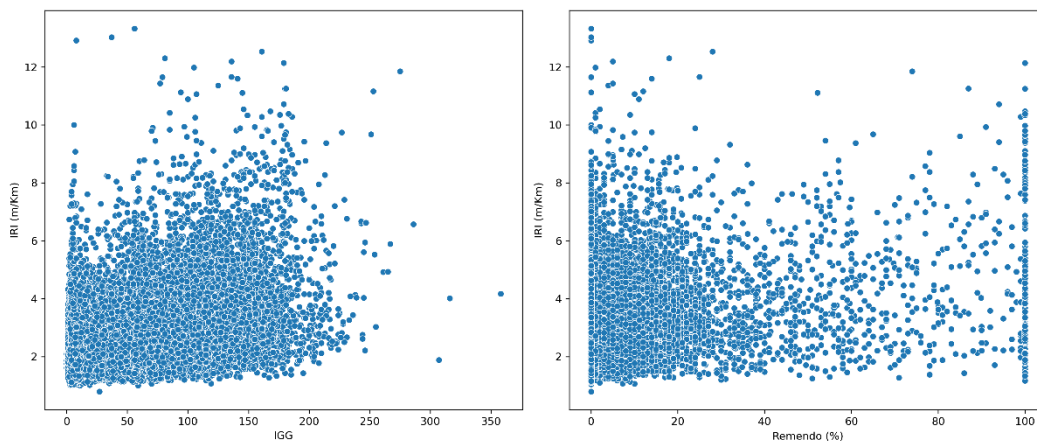


Figura 4. Gráfico de dispersão entre IRI e IGG e IRI e remendo (AUTOR, 2023)

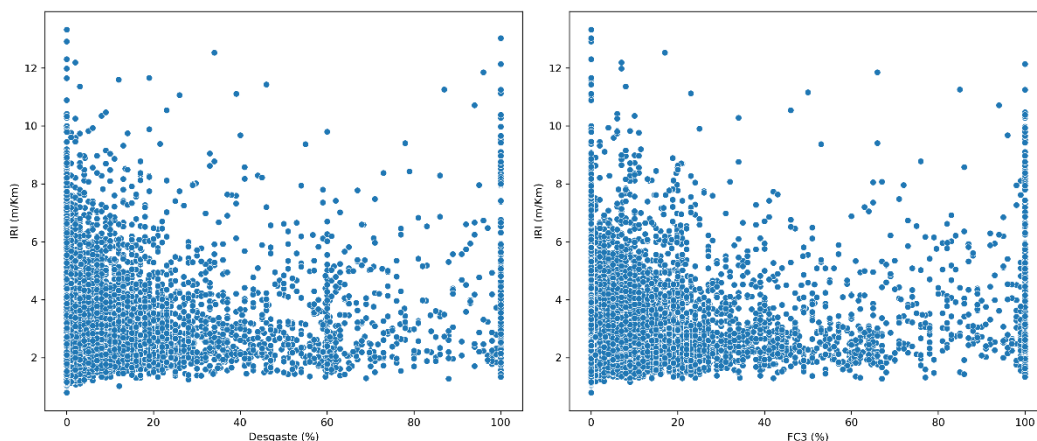
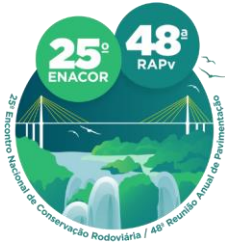


Figura 5. Gráfico de dispersão entre IRI e desgaste e IRI e FC3 (AUTOR, 2023)



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

www.rapvenacor.com.br



Por meio dos gráficos de dispersão da Figura 4 e da Figura 5 não é possível notar padrão significativo entre as variáveis analisadas. Contudo, observa-se uma densidade maior de pontos em torno do IRI e IGG próximos de zero, assim como também entre IRI e remendo, IRI e desgaste e IRI e FC3. Tal como foi observado pelos resultados de correlação, os gráficos das figuras também apontam para uma relação fraca entre as variáveis estudadas e o IRI. Com o intuito de melhor visualizar as variáveis mais influentes sobre o IRI, foram gerados *boxplots* expostos na Figura 6.

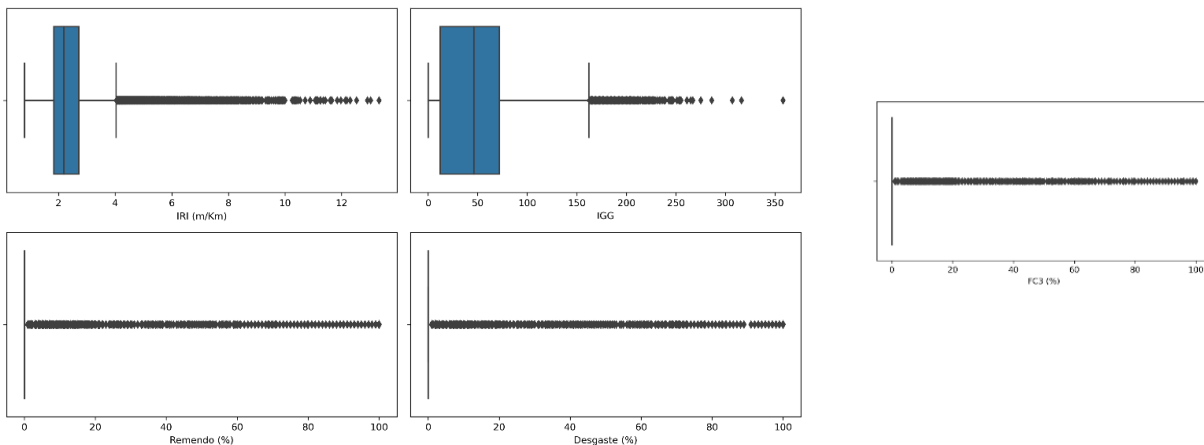


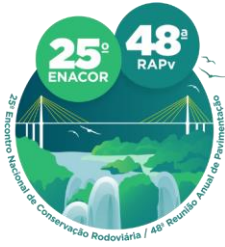
Figura 6. *Boxplot* do IRI e suas variáveis mais relevantes (AUTOR, 2023)

Outra abordagem adotada foi a análise da correlação das variáveis com o IRI em função das faixas de valores de IRI para a classificação do ICS. A Tabela 3 expõe os resultados da correlação de *Spearman* entre as variáveis e o IRI, bem como os seus respectivos p-valores.

Tabela 3. Correlação de *Spearman* em função do ICS (AUTOR, 2023)

| Variáveis | Péssimo | | Ruim | | Regular | | Bom | | Ótimo | |
|----------------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor |
| IGG | 0,186 | 2E-07 | 0,103 | 5E-06 | 0,115 | 1E-15 | 0,089 | 5E-12 | 0,203 | 1E-253 |
| FC3 | 0,170 | 1E-06 | 0,062 | 6E-03 | 0,075 | 2E-07 | 0,047 | 3E-04 | 0,103 | 1E-65 |
| Desgaste | 0,139 | 9E-05 | 0,103 | 4E-06 | 0,071 | 1E-06 | 0,060 | 4E-06 | 0,104 | 1E-66 |
| Remendo | 0,131 | 2E-04 | 0,131 | 6E-09 | 0,130 | 2E-19 | 0,095 | 2E-13 | 0,132 | 5E-107 |
| Flecha | 0,111 | 2E-03 | -0,021 | 4E-01 | -0,049 | 8E-04 | -0,017 | 2E-01 | 0,118 | 2E-86 |
| Escorregamento | 0,060 | 9E-02 | 0,020 | 4E-01 | 0,010 | 5E-01 | 0,015 | 3E-01 | 0,032 | 2E-07 |
| FC1 | -0,004 | 9E-01 | -0,001 | 1E+00 | -0,003 | 8E-01 | 0,009 | 5E-01 | -0,004 | 5E-01 |
| Afundamento | -0,040 | 3E-01 | 0,007 | 8E-01 | 0,012 | 4E-01 | 0,010 | 4E-01 | 0,025 | 3E-05 |
| Panela | -0,048 | 2E-01 | 0,033 | 1E-01 | 0,020 | 2E-01 | 0,026 | 4E-02 | 0,069 | 1E-30 |
| Exsudação | -0,052 | 1E-01 | -0,037 | 1E-01 | 0,019 | 2E-01 | 0,008 | 5E-01 | 0,017 | 4E-03 |
| FC2 | -0,120 | 7E-04 | -0,005 | 8E-01 | -0,008 | 6E-01 | 0,007 | 6E-01 | 0,107 | 4E-71 |

Percebe-se, pelos resultados da Tabela 3, que não há valores de correlação (ρ) relevantes. Porém, pode-se destacar alguns fatos, tais como o IGG é sempre um dos três maiores, sobretudo nas situações



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

www.rapvenacor.com.br



péssima e ótima. Ressalta-se também remendo, sendo a variável com maior correlação com IRI nas situações ruim, regular e boa.

Na segregação dos dados por ano, Tabela 4, foram observados valores de correlação maiores do que os encontrados na segregação do ICS. Além disso, a variável IGG foi a mais relevante em quase todos os anos, principalmente em 2017, alcançado 0,489. Remendo também apresentou valores consideráveis, sobretudo no ano de 2020, em que apresentou a maior correlação daquele ano, 0,465.

Tabela 4. Correlação de Spearman em função do tempo (AUTOR, 2023)

| Variáveis | 2014 | | 2015 | | 2017 | | 2018 | | 2020 | | 2021 | | 2022 | |
|----------------|-------|---------|--------|---------|-------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor | IRI | P-valor |
| IGG | 0,216 | 4E-63 | 0,226 | 3E-69 | 0,489 | 0E+00 | 0,384 | 2E-209 | 0,437 | 2E-242 | 0,312 | 3E-147 | 0,426 | 2E-250 |
| Exsudação | 0,165 | 2E-37 | 0,013 | 3E-01 | 0,026 | 4E-02 | -0,053 | 4E-05 | 0,066 | 2E-06 | -0,011 | 4E-01 | -0,043 | 1E-03 |
| Remendo | 0,155 | 3E-33 | 0,211 | 2E-60 | 0,378 | 2E-197 | 0,405 | 8E-235 | 0,465 | 1E-277 | 0,305 | 6E-140 | 0,411 | 2E-232 |
| Escorregamento | 0,138 | 2E-26 | 0,041 | 2E-03 | 0,056 | 2E-05 | 0,095 | 2E-13 | 0,070 | 4E-07 | 0,025 | 4E-02 | 0,052 | 7E-05 |
| Afundamento | 0,120 | 2E-20 | -0,030 | 2E-02 | 0,008 | 6E-01 | -0,003 | 8E-01 | 0,011 | 4E-01 | 0,009 | 5E-01 | 0,027 | 4E-02 |
| FC3 | 0,087 | 2E-11 | 0,103 | 2E-15 | 0,253 | 1E-85 | 0,189 | 3E-49 | 0,292 | 3E-103 | 0,231 | 2E-79 | 0,231 | 5E-70 |
| Flecha | 0,083 | 1E-10 | 0,122 | 6E-21 | 0,343 | 1E-160 | 0,351 | 2E-172 | 0,032 | 2E-02 | 0,209 | 5E-65 | 0,175 | 1E-40 |
| Desgaste | 0,070 | 6E-08 | 0,115 | 9E-19 | 0,246 | 6E-81 | 0,301 | 1E-125 | 0,189 | 3E-43 | 0,195 | 1E-56 | 0,342 | 2E-156 |
| Panela | 0,052 | 7E-05 | 0,139 | 8E-27 | 0,161 | 3E-35 | 0,225 | 2E-69 | 0,164 | 1E-32 | 0,059 | 2E-06 | 0,130 | 6E-23 |
| FC2 | 0,028 | 3E-02 | 0,128 | 4E-23 | 0,212 | 3E-60 | 0,153 | 1E-32 | 0,153 | 8E-29 | -0,108 | 2E-18 | 0,088 | 2E-11 |
| FC1 | 0,024 | 7E-02 | 0,002 | 9E-01 | - | - | -0,064 | 8E-07 | -0,036 | 9E-03 | -0,006 | 6E-01 | -0,009 | 5E-01 |

É possível que, devido à deterioração da rodovia ao longo do tempo, a relação do IRI com as demais variáveis aumente. Ou seja, à medida que defeitos vão se acentuando, como remendo e flecha, o IRI também tende a subir.

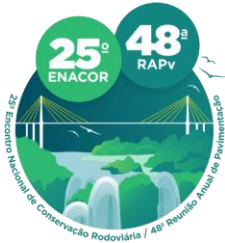
CONCLUSÃO

Este trabalho buscou analisar a relação entre o *International Roughness Index* (IRI), o Índice de Gravidade Global (IGG) e alguns defeitos, tais como trincas, desgastes, painelas e remendos, utilizados como entrada para o cálculo do IGG. Para isso foram empregados dados de uma rodovia federal brasileira entre os anos de 2014 e 2022.

Os resultados encontrados indicam que há uma relação direta, porém fraca, entre os parâmetros IGG, remendo, desgaste e FC3, quando analisados por meio da base geral. Os valores de correlação são ainda menores ao segregar a base em função dos valores de IRI do Índice de Condição de Superfície (ICS). Contudo, observam-se as variáveis IGG e remendo como as mais relevantes.

No que diz respeito à divisão dos dados em função do período de medição, foram encontrados valores maiores de correlação, sobretudo do IGG e remendo. Dessa forma, há indícios de que essas variáveis conseguem explicar parcialmente as variações de IRI, principalmente quando começam a piorar as condições da rodovia mensurada em função do ICS.

Os demais parâmetros, embora estatisticamente significantes, não apresentaram valores relevantes. Consideram-se necessários mais estudos para viabilizar o emprego do IGG ou alguns de seus defeitos constituintes como forma de predizer o IRI e, assim, auxiliar gestores na tomada de decisão sobre



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

www.rapvenacor.com.br



medidas de manutenção e reabilitação. Contudo, enfatiza-se que a medição do IRI é fundamental para a tomada de decisão e deve sempre ser mensurado.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. F. M.; GONÇALVES, H. B. B.; SILVA, A. de P. da; OLIVEIRA, F. H. L. de (2019). Proposta de adaptação do Índice de Gravidade Global para avaliação de tratamentos superficiais por penetração. Anais do 33º Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes (ANPET), Balneário Camboriú, Santa Catarina, 2019.
- BENEVIDES, S. A. DE S. E.; MOTTA, L. M. G. (2010). Comparação dos valores de irregularidade longitudinal medidos com o perfilômetro a laser com variação do arranjo das posições dos sensores. Transportes, v. XVIII, 2010. Disponível em: <http://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/426>. Acesso em 01/05/2023.
- BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L.M.G; CERATTI, J.A.P.; SOARES, J.B. (2022). Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. 2ª Edição. Rio de Janeiro. Petrobras e Abeda. ISBN: 978-85-69658-02-3.
- DNIT (2003a). Norma 006/2003-PRO. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2003b). Norma 009/2003-PRO: Avaliação Subjetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semirrígidos. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2006). Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Publicação IPR – 720. 2ª Edição. Rio de Janeiro.
- DNIT (2021). Índice de Condição de Superfície. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/planejamento/evolucao-da-malha-rodoviaria>. Acesso 14/05/2023.
- FARIAS, B. A.; PEREIRA, D. da. S.; SPECHT, L. P.; PEGORINI, V.; BISCONSINI, D. R. (2023). Aplicação de dados de smartphones a Sistemas de Informações Geográficas para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos. Revista Técnico-Científica do CREA-PR - ISSN 2358-5420–Ed. Especial– Fevereiro de 2023.
- FERNANDES, P. G. P. S.; CARVALHO, P. H. F. C.; NOBRE JÚNIOR, E. F.; OLIVEIRA, F. H. L. de. (2018). Avaliação das condições de superfície de pavimentos rodoviários por meio do VSA e do IRI obtido por aplicativo para smartphones. Anais do 32º Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes (ANPET), Gramado, Santa Catarina, 2018.
- GABRIEL, G. C.; VERDADE, L. L. (2021). Avaliação dos defeitos de pavimento flexível através do método do Índice de Gravidade Global (IGG) em Apucarana-PR. Revista de Engenharia e Tecnologia ISSN 2176-7270. V. 13, No . 4, Dec/2021.
- GONÇALVES, A. K. L.; ESPÍNDOLA, A. C. (2020). Análise de correlação entre a irregularidade longitudinal e os dados oriundos do LVC nas rodovias federais do estado do Ceará. Anais do 34º Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes (ANPET), 2020.
- LI, W., HUYAN, J., XIAO, L., TIGHE, S., & PEI, L. (2019). International roughness index prediction based on multigranularity fuzzy time series and particle swarm optimization. *Expert Systems with Applications: X*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.eswax.2019.100006>.
- MÚČKA, P. (2017) International Roughness Index specifications around the world, Road Materials and Pavement Design, 18:4, 929-965, DOI: 10.1080/14680629.2016.1197144.
- SALES, R. de. S.; MAGALHÃES, L. M.; NOBRE, G. A. R. (2019). Análise de correlação entre defeitos estruturais e funcionais em rodovias brasileiras em revestimentos de CAUQ. Anais do 33º Congresso de Ensino e Pesquisa em Transportes (ANPET), Balneário Camboriú, Santa Catarina, 2019.
- SAYERS, M. W., GILLESPIE, T. D., & PATERSON, W. D. O. (1986). Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements (Technical Paper No. 46). Washington, DC: The World Bank.
- SAYERS, M. W., & KARAMIHAS, S. M. (1998). The little book of profiling. Ann Arbor: Transportation Research Institute, University of Michigan, 102 p.
- ŠROUBEK, F., ŠOREL, M. & ŽÁK, J. Precise International Roughness Index Calculation. Int. J. Pavement Res. Technol (2021). <https://doi.org/10.1007/s42947-021-00097-z>.



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

www.rapvenacor.com.br



VIEIRA, S. A.; PINHO JÚNIOR, A. A. E. de; OLIVEIRA, F. H. L. DE; AGUIAR, M. F. P. de. (2016). Análise Comparativa de Metodologias de Avaliação de Pavimentos Através do IGG E PCI. *Conex. Ci. e Tecnol.* Fortaleza/CE, v. 10, n. 3, p. 20 - 30, nov. 2016. DOI: 10.21439/conexoes.v10i3.799.