



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)

ESTUDO DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DE PAVIMENTO RODOVIÁRIO UTILIZANDO APLICATIVO PARA SMARTPHONE “SMARTIRI” – ESTUDO DE CASO DA SC150

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

Andressa Elissa Proner¹; Gislaine Luvizão²; Fabiano Alexandre Nienov²; Gabriela Ceccon Carlesso Grando²

RESUMO

Um dos parâmetros mais utilizados para a avaliação funcional de pavimentos é a irregularidade longitudinal. O Índice de Irregularidade Longitudinal (IRI), tem influência direta sobre a sensação de conforto dos usuários da rodovia, na qualidade de rolamento e no custo operacional dos veículos. Atualmente, a irregularidade é aferida por meio de perfilômetro, Merlin ou sensores com infravermelho embarcados, os quais desprendem tempo, custo em equipamentos e pessoas. Com o advento das novas tecnologias, desenvolveu-se o método de mensuração com o uso de smartphones, o qual prevê os resultados por meio de levantamento de dados de forma prática, barata e que representa acurácia em relação as avaliações subjetivas. Neste sentido, objetivou-se em analisar e classificar o conforto ao rolamento da rodovia SC150, em um trecho de 24,8 km de extensão, entre os municípios de Joaçaba e Ouro, e comparar os dados coletados com perfilômetro a laser obtidos no ano de 2018 do trecho de 1,5 km de extensão (segmento experimental), a partir dos dados de irregularidade longitudinal obtidos com o aplicativo SmartIRI. A análise dos dados permitiu classificar o trecho de 24,8 km da rodovia, onde não haviam levantamentos anteriores, com uma condição de trafegabilidade “Boa”. Entretanto, identificou-se que o segmento experimental de 1,5 km apresentou aumento do IRI quando comparado com dados de 2018. Ainda, constatou-se que a variação da velocidade, quando realizado levantamentos com o SmartIRI, para um mesmo ponto de medição, altera os valores de irregularidade, onde quanto menor a velocidade de percurso, maior é o valor do IRI. Por fim, confirmou-se que os resultados obtidos com o aplicativo refletiram a condição real de conforto ao rolamento da rodovia.

PALAVRAS-CHAVE: *SmartIRI*; Índice de Irregularidade Longitudinal; Avaliação funcional.

ABSTRACT

One of the most used parameters for the functional evaluation of pavements is the longitudinal irregularity. The Longitudinal Irregularity Index (IRI) has a direct influence on the feeling of comfort for road users, on the quality of the road and on the operational cost of the vehicles. Currently, irregularity is measured using a profilometer, Merlin or on-board infrared sensors, which save time, cost in equipment and people. With the advent of new technologies, the measurement method was developed using smartphones, which predicts results through data collection in a practical, inexpensive way and represents accuracy in relation to subjective evaluations. In this sense, the objective was to analyze and classify the rolling comfort of the SC150 highway, in a stretch of 24.8 km in length, between the municipalities of Joaçaba and Ouro, and to compare the data collected with a laser profilometer obtained in the year 2018 of the 1.5 km stretch (experimental segment), based on longitudinal irregularity data obtained with the SmartIRI application. Data analysis allowed classifying the 24.8 km stretch of the highway, where there were no previous surveys, with a “Good” trafficability condition. However, it was identified that the experimental segment of 1.5 km showed an increase in IRI when compared to data from 2018. Furthermore, it was found that the variation in speed, when surveys were carried out with SmartIRI, for the same measurement point, alters the irregularity values, where the lower the travel speed, the higher the IRI value. Finally, it was confirmed that the results obtained with the application reflected the real condition of comfort on the highway.

KEY WORDS: *SmartIRI*; Longitudinal Irregularity Index; Functional assessment.

¹ Engenheira Civil, andressa.proner@hotmail.com

² Universidade do Oeste de Santa Catarina, gislaine.luvizao@unoesc.edu.br; fabiano.nienov@unoesc.edu.br; gabriela.carlesso@unoesc.edu.br



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

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

As condições de infraestrutura juntamente com a modernização dos modos de transporte de cargas e de passageiros, influenciam diretamente no cenário de desenvolvimento socioeconômico de um país ou região. No Brasil, têm-se como modos de transporte o rodoviário, aquaviário, ferroviário, aéreo e dutoviário.

Tendo em vista a exclusividade do modo rodoviário para o deslocamento de cargas e a predominância deste meio para o deslocamento de pessoas em Santa Catarina, garantir boas condições de rolamento torna-se excepcional para reduzir os Custos Operacionais dos Veículos (COV), proporcionar o adequado escoamento da produção e a sensação de conforto e segurança dos usuários das rodovias, bem como para promover o desenvolvimento econômico regional e nacional, e para a garantia de direitos fundamentais dos cidadãos.

Neste cenário, para manter as rodovias em condições de trafegabilidade recomendadas, que ofereçam conforto e segurança aos usuários, necessita-se mensurar e analisar as suas características funcionais e realizar manutenções periódicas nos elementos que a compõe. Neste âmbito, um dos parâmetros que indicam a qualidade de rolamento de uma via é a irregularidade longitudinal (representada internacionalmente pela sigla IRI – *International Roughness Index*), atualmente aferida por meio de perfilômetro, Merlin ou sensores com infravermelho embarcados, os quais desprendem tempo, custo em equipamentos e pessoas.

Com o advento das novas tecnologias, novos métodos de mensuração de irregularidade estão sendo desenvolvidos, sendo que o levantamento com o uso de smartphones tem se mostrado como uma alternativa para regiões que possuem restrições orçamentárias no setor público, tendo em vista que prevê o levantamento de dados de forma prática, barata e que representa acurácia em relação as avaliações subjetivas. Neste âmbito, Almeida (2018) desenvolveu um aplicativo para smartphone, denominado SmartIRI, na Universidade Federal do Ceará (UFC).

Este artigo objetiva realizar uma análise do comportamento da irregularidade longitudinal ao longo de trecho da SC150, que interliga os municípios de Joaçaba e Ouro em Santa Catarina, por meio de análise comparativa de dados obtidos com o aplicativo SmartIRI no ano de 2021 com os resultados obtidos no ano de 2018 com perfilômetro a laser, bem como analisar e comparar o comportamento do índice de irregularidade longitudinal do aplicativo quando exposto a diferentes velocidades médias de percurso, possibilitando a classificação da rodovia, e ao final, realizar o apontamento das possíveis causas que refletem a majoração da irregularidade ao longo do trecho em estudo.

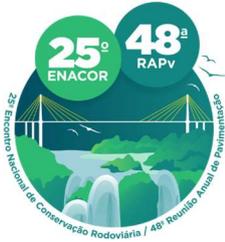
REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Brasil (2011), a irregularidade longitudinal é o somatório dos desvios da superfície de um pavimento em relação a um plano de referência ideal de projeto geométrico, que afeta a dinâmica dos veículos, o efeito dinâmico das cargas, a qualidade ao rolamento e a drenagem superficial da via.

Existe um índice internacional para a medida desta irregularidade, designado de IRI - *International Roughness Index* (Índice de Irregularidade Internacional) que de acordo com Bernucci et al. (2006) é um índice estático, expresso em m/km, que quantifica os desvios da superfície do pavimento em relação à de projeto.

A avaliação do IRI em conjunto com os levantamentos de defeitos da superfície são os mais apropriados para definição da condição funcional do pavimento, fato fundamental para o gerenciamento do sistema rodoviário de qualidade (BRASIL, 2011).

A irregularidade longitudinal pode ser medida em diferentes escalas, que dependem essencialmente do equipamento utilizado para a avaliação da superfície do pavimento (YSHIBA, 2003).



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

www.rapvenacor.com.br



Segundo Almeida (2018), com base nas pesquisas desenvolvidas no Brasil no ano de 1992, o DNIT passou a utilizar a escala do IRI. Assim, obteve-se uma relação entre o QI e o IRI ($QI = 13 \times IRI$), haja vista que os equipamentos utilizados para as medições nas normas do DNER (atual DNIT) tinham como dado de saída o QI.

Deste modo, DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2013) em seus padrões de desempenho para a aceitação de obras define que, para pavimentos novos, o IRI deve ser menor ou igual a 2,3 m/km, enquanto para pavimentos restaurados, este índice deve ser menor ou igual a 2,7 ou 3,0 m/km, variando em função do tipo de revestimento. Medina e Motta (2015) relatam que a escala do IRI pode variar de 0 a 10 (m/km) para pavimentos em concreto asfáltico ou de tratamento superficial. Estas faixas de variação são divididas levando em consideração o conforto e certa suavidade de rolamento quando trafegado na rodovia com a velocidade máxima de operação. Os autores ainda afirmam que rodovias, tipicamente de alta qualidade, apresentam IRI entre 1,4 e 2,3 m/km, quando estas forem de concreto asfáltico.

Entretanto, apesar da exigência dos órgãos gestores ser apenas o valor da irregularidade longitudinal, não se verifica um consenso a respeito do valor de IRI e também qual equipamento e a velocidade que deve ser utilizada na medição (ALMEIDA, 2018).

Segundo Bernucci et al. (2006), a irregularidade pode ser levantada de maneira direta ou indireta, sendo que a direta é realizada por meio de levantamentos topográficos ou por equipamentos medidores do perfil longitudinal com ou sem contato com a superfície, e, a indireta é avaliada por equipamentos do tipo resposta, que fornecem um somatório de desvios do eixo de um veículo em relação à suspensão.

O avanço tecnológico está conquistando espaço em várias modalidades da Engenharia Civil, com destaque ao setor de Engenharia de Transportes. O uso de aplicativos para smartphones facilita nas atividades rotineiras destes setores, um exemplo de utilização é o emprego na avaliação funcional dos pavimentos (LIRA, 2020).

A utilização de smartphones para avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos pode ser classificado como um sistema de medição do tipo resposta, semelhante à Classe III, embora não funcione como um medidor padrão da classe, que acumula, por meio de obtenção do deslocamento do eixo do veículo, ou de um reboque, em relação à carroceira, mas mensura as acelerações verticais por intermédio de um smartphone fixado no interior do automóvel (BISCONSINI, 2016).

Em geral, as pesquisas utilizando smartphones têm atingido resultados satisfatórios, com correlação positiva com os índices de irregularidade obtidos por outros equipamentos (BISCONSINI, 2016).

Com o intuito de relacionar a tecnologia e a praticidade aliadas à Engenharia de Tráfego, Almeida (2018) desenvolveu o aplicativo para smartphone SmartIRI. Para isso, utilizou sinais de aceleração vertical de um smartphone fixado ao painel de um veículo de passeio, que trafegou diferentes trechos rodoviários, em diferentes velocidades. Com os dados obtidos, calcularam-se os valores de RMSVA (Root Mean Square Vertical Acceleration – Média Quadrática da Aceleração Vertical) e os resultados foram correlacionados com o IRI, obtendo-se correlações satisfatórias.

O aplicativo fornece dados quantitativos e qualitativos, sendo que para este último, são fornecidas classificações que variam de Excelente, Bom, Regular e Ruim, a depender das condições de conforto ao rolamento de veículos (ALMEIDA, 2018).

Na Tabela 1 é possível analisar a classificação proposta por Almeida (2018) em relação a HDM-4 e a classificação do DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2011).



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

www.rapvenacor.com.br



Tabela 1 - Classificação proposta pelo *SmartIRI*, HDM-4 e DNIT (ALMEIDA, 2018).

Condições de Trafegabilidade	HDM-4 (m/km)	DNIT, 2011 (m/km)	<i>SmartIRI</i> (m/km)	Legenda de cores
Excelente	-	-	$0 < IRI < 2$	Verde escuro
Boa	$IRI \leq 2$	$IRI \leq 2,7$	$2 \leq IRI < 4$	Verde claro
Regular	$2 < IRI \leq 4$	$2,7 < IRI \leq 3,5$	$4 \leq IRI < 6$	Laranja
Ruim	$4 < IRI \leq 6$	$3,5 < IRI \leq 5,5$	$6 \leq IRI$	Vermelho
Péssima	$6 < IRI$	$5,5 < IRI$	-	-

Segundo Almeida (2018), o *SmartIRI* pode ser classificado como um equipamento do tipo resposta tendo em vista que depende das condições de irregularidade do pavimento para a excitação do sistema.

Com relação a acurácia dos levantamentos realizados com o aplicativo *SmartIRI*, pesquisadores compararam o aplicativo com outros métodos de levantamento. Dentre estes pesquisadores, Fernandes (2018), Castro et al. (2019), Chaves et al. (2020) e Almeida et al. (2019).

Quando for comparar resultados de avaliações de irregularidade medidos com equipamentos de classes diferentes, deve-se ter cautela e garantir que estes estejam bem calibrados, para que se obtenha resultados confiáveis (BARRELA, 2008).

HISTÓRICO DA RODOVIA SC 150

No ano de 2006, foi executada a reciclagem da rodovia SC303 (atual SC150) no trecho entre a BR282 (Joaçaba) até Lacerdópolis, numa extensão de 15,2km. A obra ficou paralisada de outubro de 2006 até março de 2007, sendo reiniciada em abril de 2007. Assim, os outros 14,8 km, de Lacerdópolis até Capinzal, foram executados de abril de 2007 até outubro do mesmo ano, sendo a obra inaugurada em novembro de 2007 (TRICHÊS, 2013). Antes de ser realizada a reciclagem do pavimento (TRICHÊS, 2013), suas camadas eram compostas por:

- Revestimento executado com CAUQ, com espessura variado de 6 à 9 cm;
- base composta por uma camada de brita graduada de basalto com espessura de 20 cm;
- sub-base constituída por uma camada de brita graduada com espessura 20 cm;
- subleito formado por material argiloso com CBR de 8%.

Após ser realizada a reciclagem do pavimento, as camadas ficaram com espessuras e características conforme citadas por Trichês (2013):

- Revestimento (6,5 cm), módulo resiliente de 4200 MPa e coeficiente de Poisson de 0,27;
- base reciclada (21cm), módulo resiliente de 1000 MPa e coeficiente de Poisson de 0,20;
- base remanescente (8cm), módulo resiliente de 32 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35;
- sub-base (20cm), módulo resiliente de 74 MPa e coeficiente de Poisson de 0,35;
- subleito com módulo resiliente médio de 180 MPa e coeficiente de Poisson de 0,45.

Segundo Trichês (2013), para a reciclagem foi necessária a incorporação de 15% de agregado virgem para composição granulométrica e de 3% de cimento, efetuando a trituração do revestimento junto com parte da base, posterior execução de uma camada de tratamento superficial para liberação do tráfego e execução da camada de revestimento com adição de asfalto borraça.

Por fim, no ano de 2012, Trichês (2013) relata que analisou a irregularidade longitudinal do trecho com auxílio de perfilômetro a laser, onde concluiu que a irregularidade média do pavimento no Segmento de Referência, trecho com extensão de aproximadamente 1,6 km localizado entre



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

www.rapvenacor.com.br



Lacerdópolis e Ouro, foi de 2,29 m/km para o lado direito e 2,13 m/km para o lado esquerdo, resultando em uma irregularidade baixa que atenderia o critério de aceitação de obras de restauração de pavimentos restaurados com concreto asfáltico estabelecido por DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2013), de $IRI < 2,7$ m/km.

MATERIAIS E MÉTODOS

O segmento em estudo está localizado na Rodovia Engenheiro Lineu Bonato SC150, entre os municípios de Joaçaba (BR-282) e Ouro (rotatória) em Santa Catarina, contemplando aproximadamente 24,8 km de extensão. Este segmento faz parte das obras de estudo do desempenho de pavimentos, com a utilização da reciclagem de pavimentos com adição de cimento para ampliação da capacidade e modernização da rodovia.

A rodovia é composta por duas faixas com largura de 3,50 m e acostamentos com largura de 2,0 m. Os pontos extremos considerados para início e fim do estudo do trecho da SC150 foram dois acostamentos estratégicos, que possibilitavam a correta calibragem do smartphone e ofereciam segurança ao motorista do veículo. Estes pontos de início e fim do percurso podem ser visualizados no Mapa 1 e Mapa 2.

Mapa 1- Acostamento próximo a Joaçaba



Mapa 2- Acostamento próximo a Ouro



Para o levantamento da irregularidade longitudinal, utilizando o aplicativo SmartIRI, foi necessário um veículo (Sandero Stepway da Renault, motor 1.6, ano 2011, com dois ocupantes), preferencialmente da categoria de passeio, um smartphone com GPS e acelerômetro (smartphone modelo Samsung Galaxy A-51), e um suporte veicular para smartphone (X-Cell).

Para este estudo, realizou-se três levantamentos do trecho completo, entre Joaçaba e Ouro, com a velocidade média de 80 km/h, e um levantamento completo com a velocidade média de 60 km/h. Ainda, buscando a correlação de velocidades medidas com o perfilômetro a laser, realizou-se dois levantamentos adicionais com velocidades de 35km/h e 50 km/h, sendo que estes foram realizados em um trecho de menor extensão da rodovia, aproximadamente 300 metros, localizado entre Joaçaba e Lacerdópolis.

Todos os levantamentos foram realizados em condições climáticas de pista seca, em dias ensolarados, para que não houvesse a modificação das condições de atrito entre o pneu e o pavimento. Os levantamentos foram realizados nos meses de abril e maio, preferencialmente em finais de semana, para que o fluxo de veículos fosse menor e não influenciasse nas velocidades a serem mantidas.

Realizou-se o levantamento fotográfico de pontos da rodovia que poderiam vir a contribuir com a majoração do índice de irregularidade.



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

www.rapvenacor.com.br



Os dados coletados pelo SmartIRI que foram analisados nesta pesquisa de natureza quali-quantitativa, são em formato .kml e .xlsx. Os dados .kml foram processados no Google Earth®, onde verificou-se por meio da escala de cores, a variação do IRI ao longo da extensão do trecho de estudo da rodovia SC150. Ademais, os dados em formato .xlsx foram processados pelo programa Excel®, onde realizou-se a confecção de gráficos, que permitiram melhor visualização do comportamento da irregularidade na rodovia, a média dos valores de IRI, o desvio padrão e o coeficiente de variação. Durante a análise estatística descritiva foram desconsiderados pontos que descaracterizavam o levantamento realizado. Nos gráficos, removeu-se os pontos de início e fim do levantamento, onde o veículo encontrava-se em aceleração e desaceleração. Conquanto, para as médias, exclui-se o início, fim e o trecho onde encontrava-se o perímetro urbano do município de Lacerdópolis, sendo que este possuía lombadas e faixas de travessia elevadas que também poderiam vir a prejudicar e alterar os resultados obtidos ao longo da rodovia.

Ainda, teve-se a necessidade de obter uma relação de dados única para os três levantamentos completos da via, realizados com velocidade de 80km/h, percorrida no sentido Joaçaba-Ouro pela faixa da direita e pela da esquerda, com o auxílio dos valores médios obtidos de IRI em levantamentos com distâncias médias acumuladas coincidentes, devido aos diferentes intervalos oferecidos pelo aplicativo.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Análise Estatística Descritiva

Tendo os valores de irregularidade, obtidos com a velocidade de 80 km/h, simplificados em forma de um único levantamento, foram gerados gráficos de dispersão com linhas para analisar o comportamento do Índice de Irregularidade Longitudinal no eixo y, em m/km, e a extensão do trecho no eixo x, em quilômetros (km). A fim de facilitar a visualização dos resultados, foram inseridos no gráfico os limites estabelecidos pelo DNIT (2011), para a classificação da condição da trafegabilidade da rodovia com base na irregularidade longitudinal ($IRI < 2,7$ – Boa; $2,7 > IRI < 3,5$ – Regular). O Gráfico 1 mostra a variação da irregularidade nas faixas de tráfego para os dois sentidos, a faixa da direita e a da esquerda da SC150.

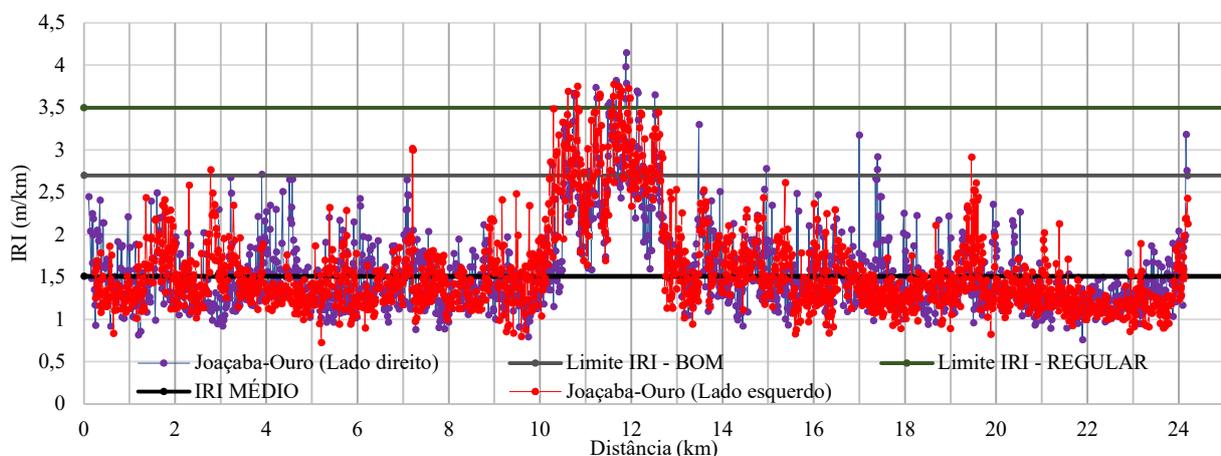


Gráfico 1 - Irregularidade longitudinal na SC-150 - levantamento com velocidade de 80 km/h

A irregularidade em ambas as faixas de rolamento é semelhante, porém a faixa da direita, considerando sentido Joaçaba-Ouro, apresentou maiores resultados de irregularidade médios, de 1,52



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

www.rapvenacor.com.br



m/km, que refletem a piora da condição de conforto ao trafegar pela faixa quando comparada com a da esquerda, que apresentou 1,50 m/km.

Ainda, percebe-se um trecho com resultados de irregularidade elevados próximo ao centro do gráfico, entre a distância de 10 km e 13 km, aproximadamente. Este trecho apresentou valores superiores em relação à média do restante da rodovia em 1,35 m/km. Salienta-se que este local corresponde ao perímetro urbano do município de Lacerdópolis, no qual foi necessário trafegar em velocidades menores e onde existem 5 lombadas e 3 faixas de travessia elevadas, responsáveis pela elevação do Índice de Irregularidade.

Quando analisado a média da irregularidade da rodovia, englobando os dois sentidos, obteve-se um valor de 1,51 m/km, o que segundo DNIT (2011) classifica a rodovia como “Boa”, enquanto as classificações do SmartIRI a enquadram como “Excelente”. Ainda em relação a classificação qualitativa do aplicativo SmartIRI, 84,04% dos trechos da faixa da direita foram classificados como “Excelente”, 15,83% como “Bom” e 0,12% como “Regular”, enquanto na faixa da esquerda obteve-se 84,66% de trechos classificados como “Excelente”, 15,28% como “Bom” e 0,06% como “Regular”.

O Gráfico 2 mostra a irregularidade longitudinal nos dois sentidos, ao longo da pista da direita e da esquerda da SC-150 entre as cidades de Joaçaba e Ouro, considerando velocidade de 60 km/h.

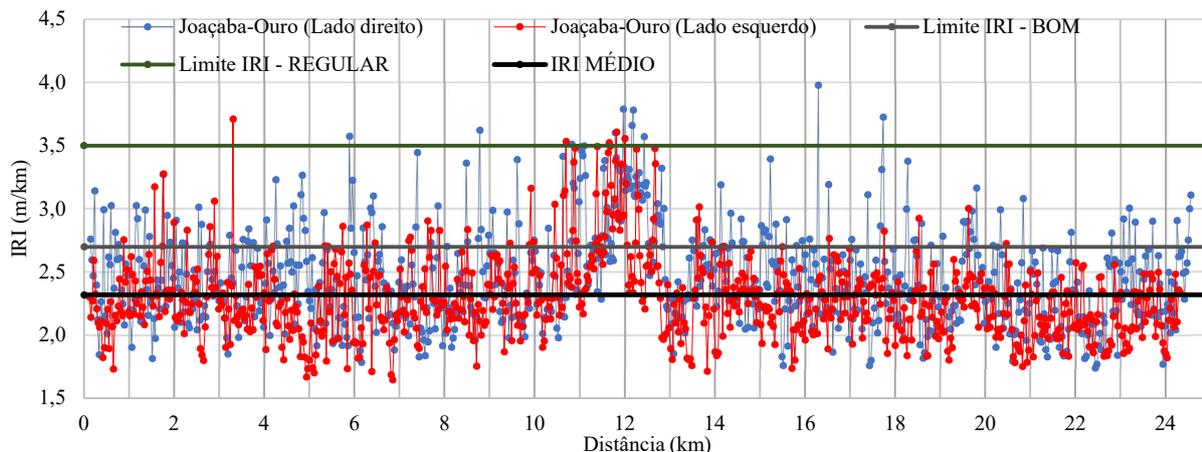


Gráfico 2 - Irregularidade longitudinal na SC-150 - levantamento com velocidade de 60 km/h

A faixa da direita se mantém com uma irregularidade mais elevada em relação a da esquerda. Este fato é confirmado pelas médias obtidas, onde na faixa da direita obteve-se um IRI médio de 2,40 m/km, enquanto a faixa da esquerda resultou em 2,24 m/km. Ademais, verificou-se a média da irregularidade da rodovia como um todo, onde para os levantamentos realizados em velocidade de 60km/h, obteve-se um valor de 2,32 m/km, o que mantém a classificação do DNIT (2011), sendo o trecho analisado considerado “Bom”.

Quando analisado a classificação qualitativa do aplicativo SmartIRI a 60 km/h, percebeu-se que 8,61% dos trechos da faixa da direita foram classificados como “Excelente” e 91,39% como “Bom”, enquanto na faixa da esquerda obteve-se 16,04% de trechos classificados como “Excelente” e 83,96% como “Bom”.

Quando comparado o Gráfico 1 com o Gráfico 2, bem como os índices de irregularidade médios obtidos nos dois levantamentos, a 80 km/h e 60 km/h, percebe-se que para um mesmo trecho, diminuindo a velocidade média de percurso, a irregularidade média aferida pelo aplicativo aumenta em aproximadamente 54%. Deste modo, elencou-se duas possíveis explicações para este fato,



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

www.rapvenacor.com.br



primeiramente, existe o fato da envoltória dos pneus sobre irregularidades de alta frequência, devido à absorção de pequenas saliências pelo contato com o pneu, e, a segunda possibilidade estaria ligada ao fato de que o ruído inerente ao sistema produzido pelos smartphones tem efeito maior em baixas velocidades, já que sua amplitude se aproxima do sinal medido e, com isso, diminui sua relação com a irregularidade real do pavimento.

Para a análise comparativa dos resultados obtidos por Salla (2018), com perfilômetro a laser, com os dados obtidos em 2021, com o aplicativo SmartIRI, necessitou-se obter uma relação, que auxiliasse na correlação dos dados, transformando os índices obtidos com 60 km/h e 80 km/h, em índices equivalentes à velocidade de 35 km/h, tendo em vista a variação de IRI observada quando altera-se a velocidade de percurso. Logo, para encontrar esta correlação entre os dados, fez-se necessário comparar os valores obtidos em um trecho de levantamento menor, de aproximadamente 300 metros, realizado em velocidades de 35 km/h, com os valores de velocidade de 60 km/h e 80 km/h. Então, para encontrar o valor de correlação, dividiu-se os IRIs obtidos a 35 km/h, pelos encontrados a 60 km/h e 80 km/h. Ao final, tendo estes valores de divisão para cada intervalo de levantamento, realizou-se a média das relações obtidas em cada velocidade. Por fim, utilizou-se este valor médio como fator de correção para adequar os valores obtidos com o SmartIRI, a 60 km/h e 80 km/h, para posteriormente, realizar a análise comparativa com o segmento monitorado de Salla (2018). Para melhor visualização, gerou-se o Gráfico 3 da faixa da direita, e o Gráfico 4 da faixa da esquerda, com as séries correspondentes aos dados de levantamento de Salla (2018) com perfilômetro a laser em velocidade de 35 km/h e os dados de levantamento realizados com o SmartIRI em velocidades de 60 km/h e 80 km/h, com e sem correção. Sendo assim, repetiu-se a estrutura de um gráfico de dispersão com linhas, correlacionando o IRI, no eixo y, ao longo da extensão do trecho, eixo x.

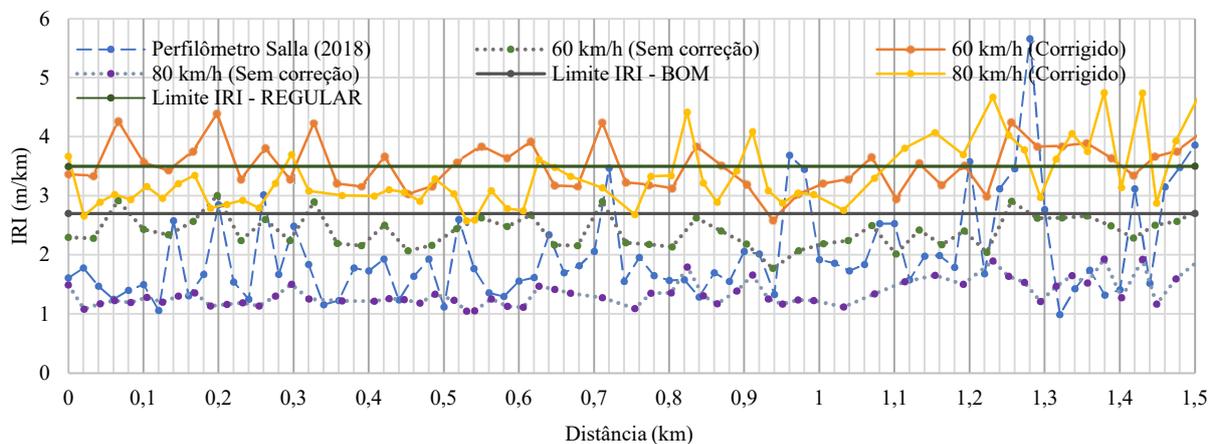


Gráfico 3 - Comparação entre os dados de Salla (2018) e *SmartIRI* (2021) - faixa da direita

Percebeu-se que os valores levantados que não foram corrigidos com a correlação da velocidade de 35 km/h, apresentaram IRIs menores que os pontos corrigidos. Tendo em vista o fato de que a rodovia não passou por processo de recuperação em grande escala entre os anos de 2018 e 2021, apenas manutenções corretivas e manutenções estruturais, em trechos que apresentaram deslizamentos devido às volumosas precipitações no ano de 2018, conforme informações da SIE (SECRETARIA DE ESTADO DA INFRAESTRUTURA E MOBILIDADE), considera-se que os valores que não foram corrigidos, não caracterizam a condição real da rodovia para fins comparativos.

Segundo os resultados expressos por Salla (2018), o segmento da rodovia caracterizava-se como “Bom”, conforme os parâmetros de DNIT (2011), tendo um IRI médio de 2,01 m/km na faixa da



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

www.rapvenacor.com.br



direita e 1,91 na faixa da esquerda. Conquanto, percebe-se que nos levantamentos realizados em 2021, houve uma piora das condições de irregularidade longitudinal deste segmento da rodovia, obtendo-se um IRI médio de 3,42 m/km na faixa da direita e 3,19 m/km para a faixa da esquerda, o que o classifica como “Regular”.

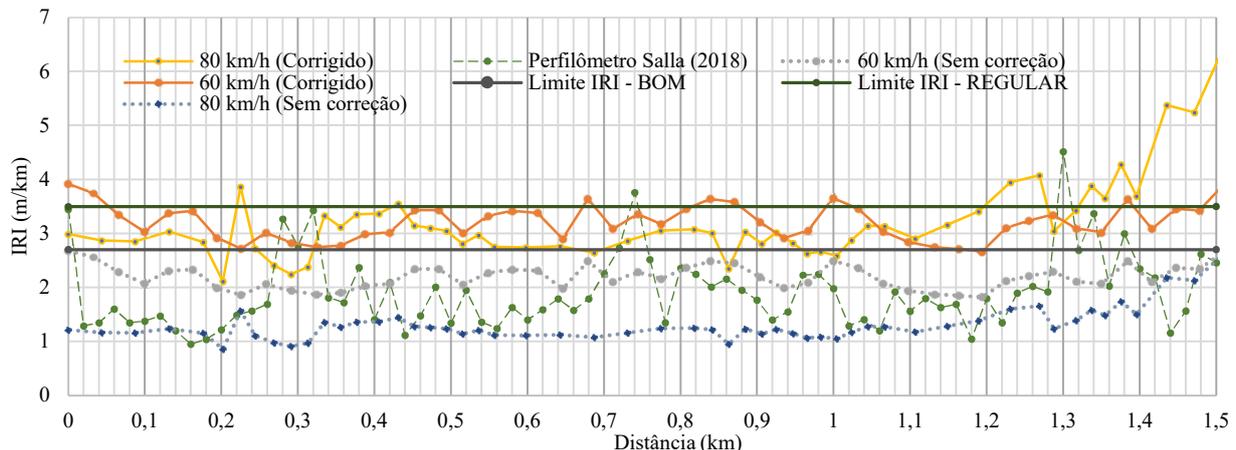


Gráfico 4 - Comparação entre os dados de Salla (2018) e *SmartIRI* (2021) - faixa da esquerda

Ademais, para auxiliar na análise comparativa entre os resultados obtidos no segmento monitorado, aferiu-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos levantamentos, que podem ser visualizados na Tabela 2, onde os valores apresentados para as velocidades de 60 km/h e 80 km/h são os corrigidos.

Tabela 2 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação dos levantamentos no segmento monitorado

Dados IRI	Pista direita			Pista esquerda		
	Salla (2018)	60 km/k (<i>SmartIRI</i>)	80 km/k (<i>SmartIRI</i>)	Salla (2018)	60 km/k (<i>SmartIRI</i>)	80 km/k (<i>SmartIRI</i>)
Média (m/km)	2,01	3,52	3,33	1,91	3,19	3,19
Desvio Padrão (m/km)	0,83	0,41	0,56	0,96	0,31	0,75
Coef. Variação (%)	41,25	11,57	16,96	36,14	9,65	23,58

A Tabela 2 comprova a piora das condições de conforto da rodovia, em função do aumento do IRI médio no levantamento de 2021. Ainda, percebe-se que a faixa da direita, considerando o referencial Lacerdópolis-Ouro, apresenta IRIs mais elevados, quando comparada com a faixa da esquerda. Observa-se, na Tabela 2, coeficientes de variação elevados, acima de 30%, que caracterizam a alta dispersão dos dados da amostra, nos levantamentos analisados por Salla (2018) com perfilômetro a laser, fato que possivelmente ocorreu devido a sensibilidade do equipamento utilizado. Conquanto, nos levantamentos realizados com o *SmartIRI*, obteve-se coeficientes de variação menores, os quais indicam média dispersão de dados, que podem ter ocorrido devido a menor precisão do aplicativo quando comparado com o perfilômetro, e também puderam ter sido influenciados pelo local específico da trajetória da roda do veículo, onde algumas patologias podem não ter sido capturadas. Para fechamento do estudo, gerou-se o Gráfico 5, o qual relaciona as velocidades, no eixo x, com Índices de Irregularidade Longitudinal, no eixo y. Este gráfico engloba todos os dados de levantamento realizados ao longo da rodovia SC-150 com o aplicativo *SmartIRI*, nas velocidades de 35km/h, 50 km/h, 60 km/h e 80 km/h. A principal ideia do gráfico é poder estimar o Índice de



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

www.rapvenacor.com.br



Irregularidade Longitudinal da rodovia SC-150 quando houver apenas os dados de velocidade de percurso, ou seja, quando não for possível realizar o levantamento da irregularidade no trecho. Para isso, é necessário apenas substituir o valor da velocidade de percurso na Equação 1, na incógnita “x”, para que se obtenha um valor de IRI na incógnita “y”.

$$y = -0,0002x^2 - 0,0184x + 4,0364 \quad (1)$$

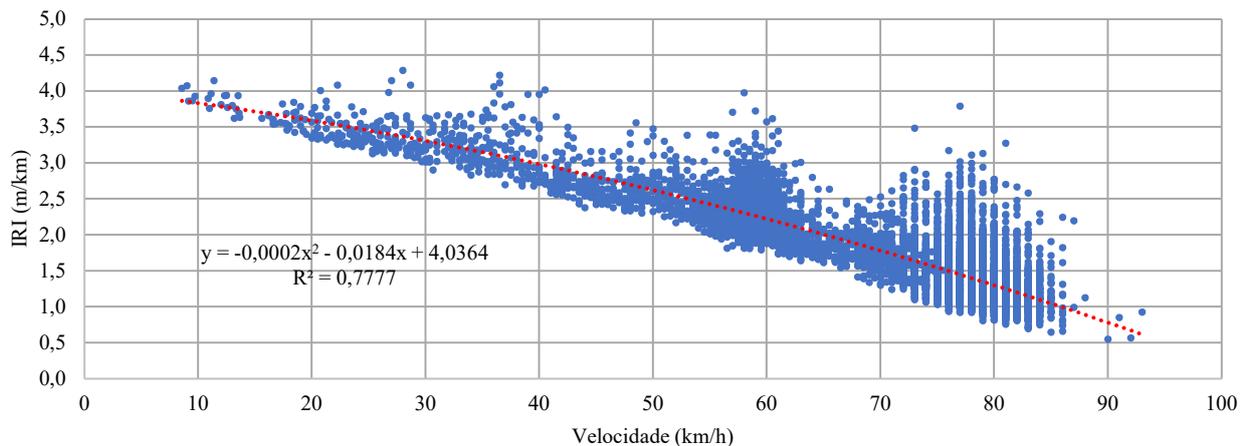


Gráfico 5 - Índice de Irregularidade Longitudinal da rodovia SC -150 em função da velocidade de percurso

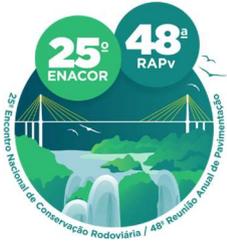
Verificação In Loco Dos Locais Com Irregularidade Elevada

Uma análise foi feita in loco por meio de registro fotográfico onde verificou-se alguns defeitos que contribuem para a majoração da irregularidade longitudinal, quais sejam: os remendos, os buracos e as trincas já com alta severidade. Observou-se, durante o processo de levantamento fotográfico, um maior número de patologias na faixa da direita, o que explica os valores elevados do IRI no registro de dados. Esta prevalência de patologias da faixa da direita pode estar aliada à predominância dos cortes desta região, os quais elevam a umidade e contribuem para formação de defeitos no pavimento.



Fotografia 3- a) Trinca longitudinal, b) Trinca longitudinal - ampliação, c) Patologias presentes na cabeceira da ponte

Baseado nos fatos levantados, o trecho da SC-150 entre Joaçaba e Ouro está com boas condições de trafegabilidade, considerando terem se passado aproximadamente 4 anos além do período de vida útil



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

www.rapvenacor.com.br



determinado, de 10 anos, a partir da reciclagem profunda com cimento Portland finalizada em 2007. Porém, para melhorar as condições de trafegabilidade da rodovia, sugere-se que sejam realizadas manutenções preventivas e corretivas no trecho de estudo. Para locais com trincas longitudinais e transversais, indica-se a estabilização dos aterros e taludes, seguida pela execução de remendos superficiais e profundos, dependendo da gravidade da patologia. Para os remendos deteriorados, indica-se a remoção destes, seguido da execução de novos remendos. Ainda, para locais que apresentam buracos, indica-se a execução de remendos para evitar o agravamento da patologia. Por fim, poderia finalizar o processo de melhoramento, com a execução de um microrresvestimento asfáltico na extensão do trecho de estudo.

CONCLUSÃO

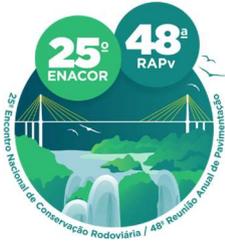
Com o desenvolvimento deste estudo foi possível perceber a importância dos levantamentos da irregularidade longitudinal e a sua correspondência com o conforto ao rolamento e custos de operação dos veículos em pavimentos rodoviários com revestimento em concreto asfáltico.

Verificou-se, que para a faixa da direita do trecho de estudo, tomando como referencial o sentido Joaçaba-Ouro, a média de irregularidade obtida foi maior, tanto a 60 km/h, em 0,16 m/km, quanto a 80 km/h, em 0,02 m/km, refletindo a piora da condição de rolamento da faixa, quando comparada com a faixa da esquerda, fato que pode estar aliado ao maior número de patologias neste sentido de tráfego, possivelmente devido a predominância dos cortes que elevam os índices de umidade do local. Outrossim, percebeu-se a sensibilidade do aplicativo durante o percurso de levantamento com velocidades médias variadas, de 35 km/h, 50 km/h, 60 km/h e 80 km/h, onde obteve-se uma relação de quanto menores as velocidades de trajeto, maiores são os valores de IRI obtidos pelo aplicativo. Este fato pode ser explicado pela envoltória dos pneus sobre irregularidades de alta frequência, devido à absorção de pequenas saliências pelo contato com o pneu, e também pode estar ligado ao fato de que o ruído inerente ao sistema produzido pelos smartphones tem efeito maior em baixas velocidades, já que sua amplitude se aproxima do sinal medido e assim, diminui sua relação com a irregularidade real do pavimento.

De posse da relação entre variação de velocidade e IRI, realizou-se a comparação do trecho de 1,5 km, alvo de estudo de Salla (2018), na qual percebeu-se que o aplicativo possui certa correlação com o perfilômetro a laser, onde ambos identificaram os picos de IRI do trecho em estudo, bem como a sua variação. Verificou-se também, uma piora da classificação deste segmento da rodovia, onde em 2018 poderia ser classificado com condição de trafegabilidade “Boa” e em 2021 como “Regular”, devido à elevação do IRI médio obtido. Ademais, neste trecho também comprovou-se que a faixa da direita apresenta piores condições de rolamento que a da esquerda, quando considerado o referencial Joaçaba-Ouro.

Ainda, baseado nos fatos levantados, concluiu-se que o trecho de estudo da rodovia SC-150, entre Joaçaba e Ouro, está em boas condições de trafegabilidade, mesmo tendo decorrido quase 14 anos após a reciclagem profunda com cimento Portland. Este fato retrata o bom comportamento da rodovia quando submetida a este tipo de reciclagem, tendo em vista que a rodovia ultrapassou o tempo de vida útil estimada, sem recuperações de grande escala, apenas com manutenções corretivas e estruturais. Salienta-se, que caso a rodovia tivesse sido submetida a manutenções periódicas e preventivas, esta poderia estar em condições de trafegabilidade e conforto ainda melhores do que as atualmente aferidas.

Indica-se manter o intervalo de velocidade entre 60 km/h e 80 km/h, conforme indicam os desenvolvedores do aplicativo, porém, a velocidade que melhor irá traduzir a sensação de conforto dos usuários da rodovia será a velocidade de operação permitida nela, tendo em vista que está será a



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

www.rapvenacor.com.br



velocidade que os motoristas irão trafegar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, Lucas Cavalcante de. Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias. 2018. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- ALMEIDA, Lucas Cavalcante et al. Análise de aplicativos medidores da irregularidade longitudinal em pavimentos asfálticos. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33., 2019, Balneário Camboriú. Anais [...]. Balneário Camboriú, p.1281-1292, nov. 2019.
- BARELLA, Rodrigo Maluf. Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.
- BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Joge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras. 2006. 501 p.
- BISCONSINI, Danilo Rinaldi. Avaliação da irregularidade longitudinal dos pavimentos com dados coletados por smartphones. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de gerência de pavimentos. Rio de Janeiro, 2011. 189p. (IPR. Publ. 745).
- CASTRO, Cecília Catarina Oliveira de et al. Análise das condições de superfície do pavimento por meio do VSA e do IRI obtido com o aplicativo SmartIRI: estudo de caso aplicado à rodovia CE-401. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 33., 2019, Balneário Camboriú. Anais [...]. Balneário Camboriú, p.1420-1430, nov. 2019.
- CHAVES, José Wémenson Rabelo et al. Análise comparativa da irregularidade longitudinal de pavimento rodoviário em serviço por meio de aplicativos para smartphone. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. 41, n. 2, p. 1-15, dez. 2020.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Instrução de Serviço/DG Nº13. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2013.
- FERNANDES, Pedro Guilherme Pinheiro Santos. Avaliação das condições de superfície de pavimentos rodoviários por meio do VSA e do IRI obtido por aplicativo para smartphones. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 32., 2018, Gramado. Anais [...]. Gramado, p.1212-1221, nov. 2018.
- LIRA, Elen Sara Aguiar Bastos. Análise da irregularidade longitudinal por faixas de tráfego através de aplicativo para smartphone. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Universitário Christus - Unichristus, Fortaleza, 2020.
- MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. Mecânica dos pavimentos. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. 638p.
- SALLA, Rodrigo Limana. Projeto de restauração de um trecho da SC-150 entre as cidades de Lacerdópolis e Ouro no KM 11. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2018.
- TRIQUÊS, Glicério. Desempenho da reciclagem com adição de cimento da rodovia SC 303. Projeto de Pesquisa. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- YSHIBA, José Kiyinha. Modelos de desempenho de pavimentos: estudo de rodovias do estado do Paraná. 2003. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.