

AVALIAÇÃO FUNCIONAL E OPERACIONAL DE RODOVIAS FEDERAIS BRASILEIRAS

Tiago Silveira de Andrade Aquino
Francisco Arthur Alves Noronha
Webert Brasil Cirilo da Silva
Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Universidade Federal do Ceará
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

RESUMO

Com o desenvolvimento dos Sistemas de Gerência de Pavimentos, é possível aperfeiçoar os métodos de avaliação das condições da infraestrutura de transportes e analisar diferentes estratégias de manutenção e de reabilitação de uma rede rodoviária. Dessa maneira, foram avaliadas as condições de alguns trechos de quatro rodovias federais brasileiras, localizadas no estado do Ceará. Do ponto de vista funcional e operacional, foram analisados os parâmetros de Índice de Irregularidade Internacional e o Volume Médio Diário anual de tráfego. Foi observada a variação desses parâmetros entre os anos de 2013 e 2017, além da possível relação entre essas duas variáveis. Conclui-se que os resultados obtidos colocam os trechos em condição funcional de regular a boa, em função de aumentos e decréscimos do Volume Médio Diário.

ABSTRACT

With the development of Pavement Management Systems, it is possible to improve the methods for evaluating the conditions of the transport infrastructure and to analyze different strategies for maintenance and rehabilitation of a road network. In this way, the conditions of some sections of four Brazilian federal highways were evaluated, located in the state of Ceará. From a functional and operational point of view, the parameters of the International Roughness Index and the Average Daily Volume annual traffic were analyzed. The variation of these parameters between the years of 2013 and 2017 was observed, besides the possible relation between these two variables. It is concluded that the results obtained put the stretches in a functional condition from regular to good, in function increases and decreases of the Average Daily Volume.

1. INTRODUÇÃO

As práticas de manutenção e de reabilitação possuem grande importância para a preservação dos pavimentos rodoviários, os quais representam um patrimônio valioso e essencial à circulação de pessoas e de cargas. No Brasil, que depende do modo rodoviário, sobretudo para o transporte de cargas, reduções na intensidade dos serviços necessários à conservação dessa infraestrutura implicam em custos de operação dos veículos mais significativos. Outro problema é que, à medida que o nível de serviço do pavimento vai diminuindo, os investimentos a serem feitos para a sua recuperação são cada vez maiores.

Devido às deficiências causadas pela falta de manutenção em pavimentos rodoviários, e como forma de viabilizar a aplicação de recursos, deve-se investir em tecnologia de Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), principalmente por parte de órgãos públicos gestores, como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Nesse sentido, de acordo com DNIT (2011), dentre as várias atividades que envolvem a execução de um SGP rodoviário, a avaliação de pavimentos é uma das etapas de maior importância, pois são delimitadas as possíveis soluções para pavimentos com um certo grau de deterioração.

Ainda conforme DNIT (2011), com relação às três condições a serem analisadas em um pavimento rodoviário, pode-se destacar, primeiramente, o aspecto estrutural. Este está relacionado ao conceito de capacidade de carga, podendo ser mensurado a partir das deformações elásticas. No que diz respeito à condição funcional, este se relaciona ao conforto ao rolamento do pavimento, podendo ser quantificado pelo Índice de Irregularidade

Internacional (IRI). Por fim, a condição operacional, na qual está inserida o tráfego, que pode ser medida pelo Volume Médio Diário (VMD).

Do ponto de vista prático, foram propostas diferentes metodologias a respeito da análise de desempenho de um pavimento. No estudo de Frajuca (2017), foram utilizados *smartphones* para a detecção de irregularidades longitudinais em pavimentos viários. Outro ponto de partida relevante no contexto da irregularidade longitudinal foi abordado no trabalho de Campos (2004), em que houve a comparação de resultados obtidos com modelos de previsão de desempenho funcional de pavimentos, com relação ao IRI.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é descrever a avaliação funcional e operacional de determinadas rodovias federais localizadas no estado do Ceará, para que sejam analisados os comportamentos dos parâmetros de IRI e VMD. Assim, por meio dos dados disponíveis, entre os anos de 2013 a 2017, pode-se estabelecer uma possível relação entre essas variáveis, para que se tenha argumentos que relacionem causa e efeito na variação do IRI ao longo do tempo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O IRI é imprescindível para a análise do desempenho funcional de pavimentos, por caracterizar uma grandeza medida de forma objetiva, a irregularidade longitudinal, que demonstra a melhor correspondência entre o custo de operação dos veículos e o conforto ao rolamento. De acordo com Echeverria (2011), a irregularidade longitudinal é uma das características mais importantes do pavimento, pois a mesma relaciona vários elementos que conferem boa funcionalidade da estrutura. Assim, é possível estimar a percepção do usuário com a qualidade da rodovia, servindo de elo entre os usuários e os gestores da via, o que torna a irregularidade longitudinal um parâmetro bastante interessante do ponto de vista do SGP.

De forma mais técnica, o antigo Departamento Nacional de Estradas e Rodovias (DNER) e atual DNIT define a irregularidade longitudinal como o desvio da superfície da rodovia, em relação a um plano de referência. Isso afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade do rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via (DNER, 1994).

A variedade de estudos ligados ao tema da irregularidade longitudinal demonstra sua crescente importância no SGP. Lee e Chatti (2002) buscaram indicar afinidade entre a evolução da irregularidade longitudinal de um pavimento e os tipos de defeitos superficiais identificados, tencionando aperfeiçoar o planejamento de procedimentos do SGP utilizado na cidade de Michigan, Estados Unidos. Hunt e Bunker (2004) calibraram modelos de previsão de irregularidade longitudinal para a região de Queensland, na Austrália. Por sua vez, Wen e Chen (2007) analisaram os possíveis fatores de projeto e construção que afetam a irregularidade longitudinal inicial no pavimento de concreto.

No Brasil, Barella (2008) utilizou perfilômetros inerciais para avaliar irregularidades longitudinais. Frajuca (2017) desenvolveu um sistema para detectar irregularidades longitudinais em pavimentos rodoviários por meio do método da Contribuição Colaborativa e de *smartphones*. Da mesma forma, Almeida (2018) desenvolveu um aplicativo para *smartphone*, que, disposto em um suporte no para-brisa de um veículo de passeio, capta as variações da aceleração vertical e estima o valor do IRI no trecho rodoviário avaliado.

DNIT (2006) e Vogel (2015) descrevem quatro classes de equipamentos para aquisição de parâmetros de irregularidade longitudinal de pavimentos, a saber:

a) Medidas diretas do perfil: envolvem medidas diretas ou manuais da geometria do pavimento, mediante emprego de equipamento de topografia ou instrumentos adequados, como exemplo, o método de Nível e Mira e o *Dipstick*.

b) Medidas indiretas do perfil: executam medidas mecanizadas do perfil da via. Os dados resultantes devem ser processados para fornecer valores como amplitude de onda, coeficiente de regularidade, etc. Como exemplo, tem-se: perfilômetro dinâmico de superfície; perfilômetro AASHTO; analisador de perfil longitudinal; perfilômetro CHLOE e MERLIN do TRRL (*Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumental*).

c) Sistemas baseados nas reações do veículo (medidores do tipo resposta): baseiam-se em instrumentos que determinam acumulativamente os movimentos relativos entre o eixo traseiro do veículo e a sua carroceria, a partir do que, estatisticamente, pode-se caracterizar a irregularidade. Os sistemas tipo-resposta mais conhecidos são: Rugosímetro BPR; *Maysmeter*; *Bump Integrator*; Integrador de deslocamentos lineares sul-africano (LDI); *PCA roadmeter* e Sistema Integrador IPR/USP.

d) Sistemas de medida com sonda sem contato: baseiam-se na reflexão de uma sonda ou raio laser emitido por um dispositivo situado no veículo. São exemplos destes sistemas: perfilômetro laser do TRRL; perfilômetro acústico da Universidade FELT e perfilômetro a laser da Cibernétrica ou perfilômetro inercial.

Para Lerch (2002), um equipamento de medição de irregularidade longitudinal deve ser capaz de efetuar uma grande quantidade de medidas em um curto período, medir variações abruptas e distorções de grande comprimento de onda e ser robusto. Por melhor que seja a produtividade, os equipamentos das classes (a), (b) e (c) avaliam lentamente a irregularidade longitudinal dos pavimentos, considerando a necessidade das cidades (Frajuca, 2017), corroborando a importância de estudos que utilizem equipamentos da classe (d), caso deste trabalho.

É importante destacar que o DNIT (2011) estabelece classificações, quanto às condições de conforto ao rolamento da superfície do pavimento, com relação à sua irregularidade longitudinal. A definição mais detalhada a respeito dessas classificações será abordada na parte de Método de Pesquisa deste artigo.

3. MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa contou com informações de VMD nos anos de 2013, 2016 e 2017, bem como os dados de IRI dos anos de 2013 a 2017. É importante destacar que esses dados, os quais foram disponibilizados pelo DNIT no estado do Ceará, foram levantados sucessivamente com o uso de um mesmo equipamento e por uma única empresa contratada.

As definições referentes aos trechos de rodovias federais brasileiras estão presentes na Tabela 1. Uma informação importante é que esses trechos estão localizados no estado do Ceará, situado na região Nordeste do Brasil. Também pode-se destacar que, durante o período de análise, nenhum desses trechos passou por processos de reabilitação ou manutenção, apenas atuação externa do tráfego e das condições climáticas.

Tabela 1: Características dos trechos de rodovias federais brasileiras estudados.

Rodovia	Trecho	Tipo de revestimento
BR – 116	Km 422 ao Km 423	Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ)
BR – 230	Km 57,3 ao Km 58,3	Tratamento Superficial Duplo (TSD)
BR – 226	Km 0,5 ao Km 1,5	TSD
BR – 020	Km 69 ao Km 70	CAUQ
BR – 020	Km 86 ao Km 87	TSD

Para efeito de classificação do pavimento, com relação ao IRI e ao VMD, será adotada a metodologia presente em DNIT (2011), em que é aplicado o modelo *Highway Development and Management System* (HDM – 4). Dessa forma, as Tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, os limites de classificação do pavimento para o IRI e o VMD.

Tabela 2: Código de VMD referente às rodovias com diferentes revestimentos

Pavimento com Concreto Asfáltico		Pavimento com Tratamento Superficial	
Código	VMD	Código	VMD
A	Menor do que 1000	A	Menor do que 1000
B	Entre 1000 e 2000		
C	Entre 2000 e 3000	B	Entre 1000 e 2000
D	Entre 3000 e 5000		
E	Maior do que 5000	C	Maior ou igual do que 2000

Fonte: Adaptado de DNIT (2011)

Tabela 3: Código referente à irregularidade da superfície

Código	Irregularidade Superficial
0	$IRI < 3$ (Bom)
1	$3 \leq IRI < 4$ (Regular)
2	$4 \leq IRI < 5,5$ (Mau)
3	$IRI \geq 5,5$ (Péssimo)

Fonte: DNIT (2011)

Destacam-se certos pontos, que, devido aos dados obtidos, foi possível analisar a variância da quantidade de VMD nos anos de 2013, 2016 e 2017, sendo obtido por contagem automatizada e classificatória. É importante colocar que os valores de VMD foram contabilizados nos sentidos de ida e volta de cada trecho estudado, sendo feita a média desses resultados.

Em relação ao IRI, as mudanças puderam ser observadas de 2013 a 2017. Dessa forma, só é possível fazer uma análise de desempenho entre o IRI e o VMD nos anos de 2013, 2016 e 2017. Os dados de IRI foram obtidos nas faixas direita e esquerda e, em cada faixa, esse parâmetro foi contabilizado nas trilhas de roda direita e esquerda, sendo feita a média desses valores. Além disso, foi feita uma representação gráfica da variabilidade dos valores do IRI, ao longo dos anos, na BR – 116, na qual foi determinado o IRI, na trilha esquerda da via, a cada 20 m ao longo de 1 km.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta o VMD de acordo com a classificação dos veículos nos anos de 2013, 2016 e 2017 nos trechos estudados. É importante destacar que o Trecho 01 da BR – 020 vai do Km 86 ao 87, e o Trecho 02 vai do Km 69 ao 70.

Tabela 4: Tráfego médio diário de veículos por tipo nos trechos estudados

Classificação do Veículo	Anos	Rodovia				
		BR – 116	BR – 230	BR – 226	BR – 020 (Trecho 01)	BR – 020 (Trecho 02)
Passeio e outros	2013	46	378	15	125	66
	2016	2.392	374	480	641	750
	2017	1.096	459	422	1.060	745
Utilitários	2013	1.546	52	316	1.439	757
	2016	620	92	70	355	200
	2017	364	112	117	239	274
Ônibus, Caminhão leve e médio	2013	675	28	69	463	244
	2016	1.332	41	11	159	148
	2017	632	92	47	178	196
Reboques	2013	64	2	2	38	20
	2016	100	0	0	22	10
	2017	51	2	0	28	38
Semi-reboques	2013	84	2	2	50	27
	2016	950	1	0	10	6
	2017	386	17	1	49	76
Veículo com mais de 6 eixos	2013	134	0	2	69	36
	2016	58	0	0	13	5
	2017	21	1	0	4	21
Total (VMD)	2013	2.549	462	406	2.184	1.150
	2016	5.452	508	561	1.200	1.119
	2017	2.550	683	587	1.558	1.350

A Figura 1 apresenta a média dos valores de IRI para os trechos estudados, entre os anos de 2013 e 2017.

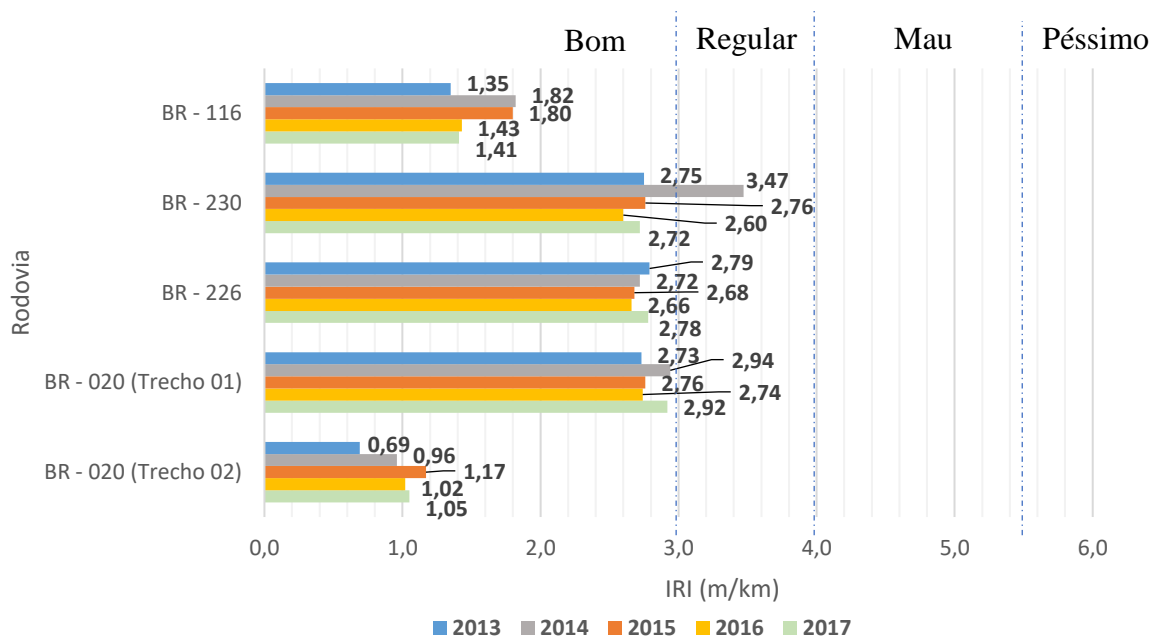


Figura 1: IRI médio dos trechos estudados entre os anos de 2013 e 2017

De acordo com os códigos de VMD e de IRI adotado, as rodovias podem ser classificadas em um determinado conceito. As Tabelas 5 e 6 apresentam essas informações no decorrer dos anos, com relação à quantificação do VMD e do IRI, respectivamente.

Tabela 5: Classificação das rodovias, conforme o código de VMD

Classificação	Ano	Rodovia				
		Pavimento com Concreto		Pavimento com Tratamento Superficial		
		BR - 116	BR - 020 (Trecho 02)	BR - 230	BR - 226	BR - 020 (Trecho 01)
VMD	2013	C	B	A	A	C
	2016	E	B	A	A	B
	2017	C	B	A	A	B

Tabela 6: Classificação das rodovias, conforme o código de IRI

Classificação	Ano	Rodovia				
		BR - 116	BR - 230	BR - 226	BR - 020 (Trecho 01)	BR - 020 (Trecho 02)
IRI	2013	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
	2014	Bom	Regular	Bom	Bom	Bom
	2015	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
	2016	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
	2017	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom

De acordo com as informações das Tabelas 4 e 5, pode-se perceber que o VMD aumentou consideravelmente no trecho da rodovia BR - 116 de 2013 a 2016 (de 2.549 para 5.452), modificando o conceito de C para E, o que é comprovado pelo acréscimo, principalmente, de veículos do tipo passeio e outros (de 46 para 2.392). A questão é que, de 2016 a 2017, na BR -

116, o VMD voltou a diminuir substancialmente (de 5.452 para 2.550), fazendo o conceito mudar de E para C. Isso pode ser verificado, devido à diminuição, por exemplo, do número de ônibus, caminhões leves e médios (de 1.332 para 632). Esse fato pode indicar o deslocamento desses veículos para diferentes rotas, a fim de economizar custos com transporte de passageiros e de cargas. Esse deslocamento não deve ter sido motivado por questões funcionais da via, pois, de acordo com a Figura 1 e a Tabela 6, não houveram alterações substanciais do IRI ao longo dos anos. Com relação às BR – 020 (Trecho 02), BR – 230 e BR – 226, não houve variações consideráveis no valor de VMD.

Pode-se destacar que, na BR – 020 (Trecho 01), de acordo com as Tabelas 4 e 5, o VMD diminuiu no decorrer de 2013 a 2016 (de 2184 para 1200), modificando o conceito de C para B. Isso pode ser comprovado pelo decréscimo, principalmente, de veículos do tipo utilitário (de 1.439 para 355). No ano de 2017, aconteceu um aumento do VMD nesse trecho (de 1.200 para 1.558), devido, principalmente, ao acréscimo de veículos de passeio e outros (de 641 para 1.060), não ocorrendo mudança de conceito na rodovia, então, pode-se colocar que esse incremento na frota de veículos não foi algo significativo. De um modo geral, uma das causas prováveis para a diminuição do número de veículos circulantes é a construção de rotas alternativas com menores distâncias de transporte nas proximidades desse trecho. Isso, provavelmente, motivou a dispersão do tráfego para outras vias, o que, também, pode estar relacionado, segundo a Figura 1 e a Tabela 6, com o aumento do IRI médio no trecho entre os anos de 2013 e 2014 (de 2,73 m/km para 2,94 m/km), apesar do conceito permanecer bom.

Com relação às inferências a respeito do IRI, pode-se considerar, conforme Figura 1 e Tabela 6, que todos os trechos das rodovias estudadas, do ponto de vista funcional, apresentam um comportamento satisfatório, pois, somente, em uma situação, um trecho ficou no estado regular (BR – 230 no ano de 2014). Outras abordagens serão feitas ao se tentar estabelecer a relação entre o mesmo IRI e o VMD.

Todavia pode-se observar, no trecho da BR – 230, que houve uma diminuição acentuada no valor do IRI dos anos de 2014 para 2015 (de 3,47 m/km para 2,76 m/km), melhorando o conceito de regular para bom. A questão é que nenhum dos trechos analisados passou por processos de manutenção ou reabilitação, o que pode indicar falhas no processo de obtenção do IRI. Com relação a isso, a Figura 2 mostra a variação dos valores do IRI, ao longo dos anos, na BR – 116.

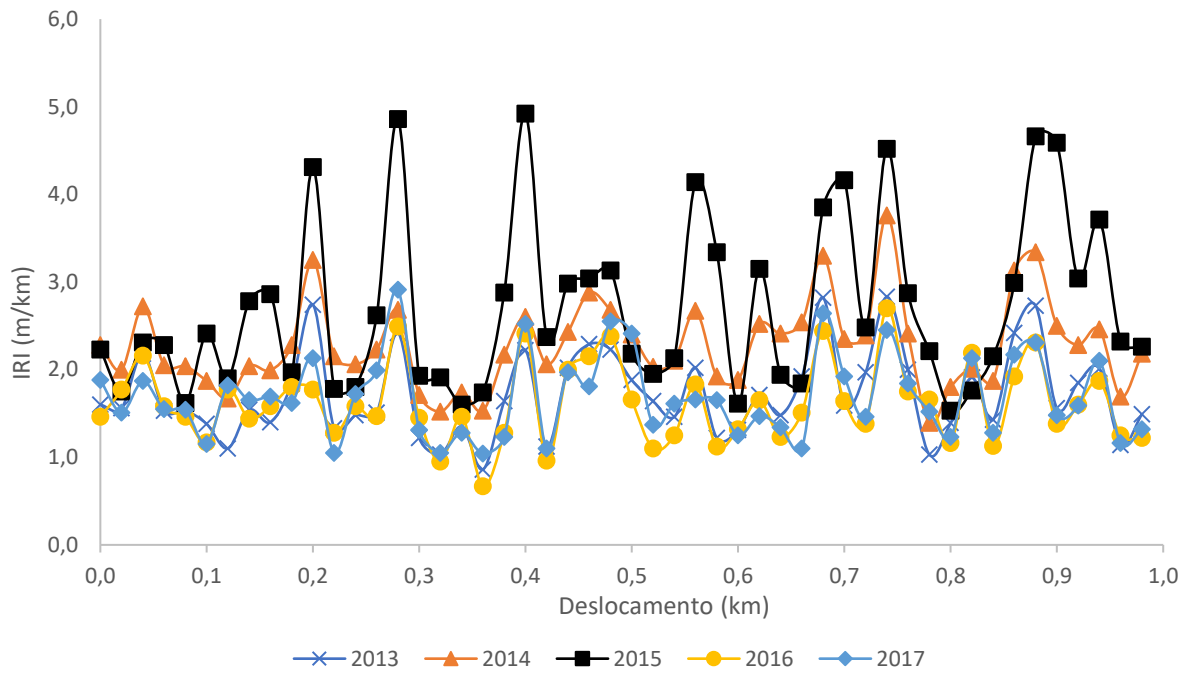


Figura 2: Variabilidade do IRI ao longo do trecho da BR – 116

Pode-se perceber, pela Figura 2, que, principalmente, no ano de 2015, os resultados do IRI, de um modo geral, se distanciam dos resultados obtidos em outros anos. Algo a ser ressaltado é que a tendência é o IRI aumentar no decorrer dos anos, devido ao tráfego atuante. Todavia, em 2017, os valores do IRI são menores do que em 2015. Então, é provável que tenham acontecido falhas no processo de obtenção do IRI.

Analisando a variação dos valores do VMD e do IRI no decorrer dos anos, puderam ser obtidas correlações gráficas. Na Figura 3, referente aos dados do trecho da BR – 116, observa-se que, mesmo havendo um aumento no VMD de 2013 a 2016, o valor do IRI sofreu redução no ano de 2016.

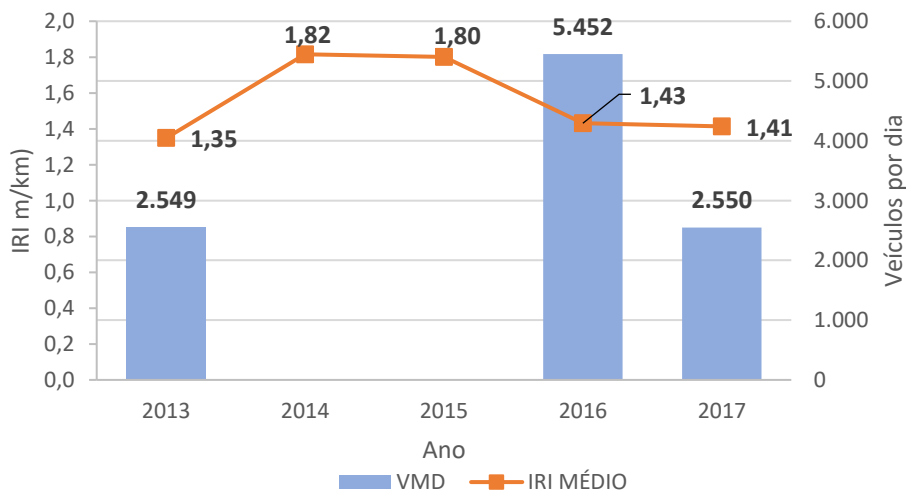


Figura 3: Relação do VMD anual com o IRI entre os anos de 2013 e 2017 no trecho da BR – 116

Fica evidenciado, na Figura 3, que houve redução dos valores médios do IRI a partir do ano de 2016. Apesar do aumento do VMD no trecho de 2013 para 2016, houve um decréscimo na quantidade de veículos em 2017.

Na Figura 4, referente aos dados do trecho da BR – 230, observa-se que, mesmo havendo um aumento contínuo no VMD, o valor do IRI reduziu no ano de 2016 e cresceu em 2017.

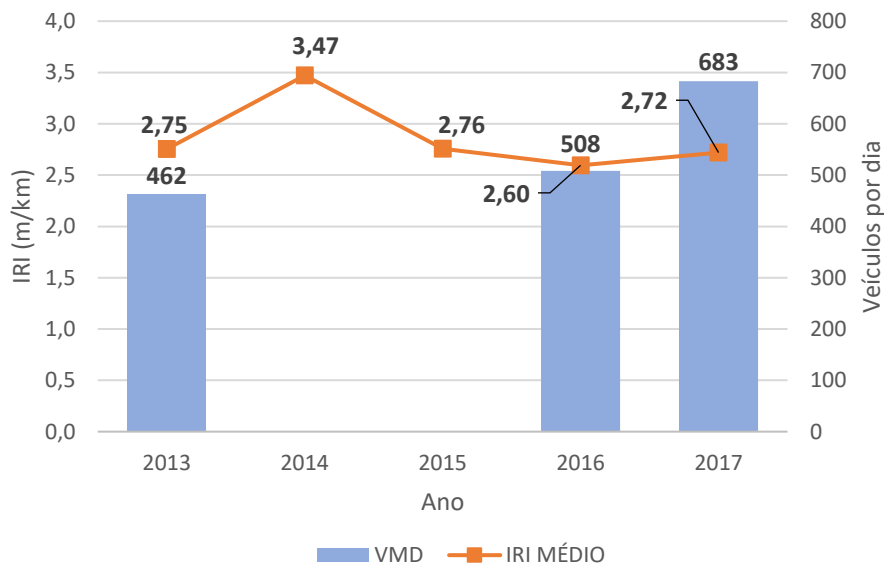


Figura 4: Relação do VMD anual com o IRI entre os anos de 2013 e 2017 no trecho da BR – 230

Destaca-se, na Figura 4, o aumento no VMD de 2016 para 2017, o qual foi provocado pelo acréscimo, principalmente, de veículos do tipo passeio e outros (de 374 para 459), conforme Tabela 4. Tal condição pode ter ocasionado o aumento do IRI no mesmo período (de 2,60 m/km para 2,72 m/km). Isso é coerente, pois demonstra um crescente desgaste nas condições de superfície da rodovia, que foi provocado pelo aumento, mesmo que não significativo, da intensidade do tráfego na região.

Na Figura 5, referente aos dados do trecho da BR – 226, observa-se que, mesmo havendo um aumento no VMD, o valor do IRI diminuiu desde o ano de 2013, tendo seu valor aumentado, somente, em 2017.

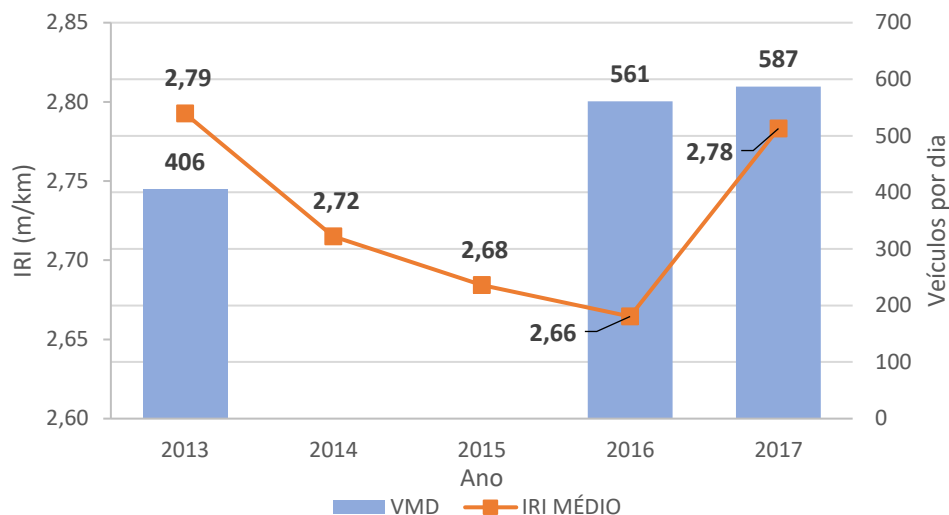


Figura 5: Relação do VMD anual com o IRI entre os anos de 2013 e 2017 no trecho da BR – 226

Pode-se perceber, na Figura 5, que os valores médios do IRI decresceram entre 2013 e 2016. Porém, da mesma forma como foi na BR – 230, o aumento da intensidade do tráfego na região de 2016 para 2017 (de 561 para 587), aliado, provavelmente, com a atuação das condições climáticas, provocou o crescimento do IRI nesse período (de 2,66 m/km para 2,78 m/km).

Na Figura 6, referente aos dados do Trecho 01 da BR – 020 (Km 86 ao Km 87), observa-se redução no VMD em 2016 e um consequente aumento em 2017, enquanto o valor do IRI cresce entre os anos de 2013 e 2014. Posteriormente, o IRI sofre redução e posterior aumento no ano de 2017.

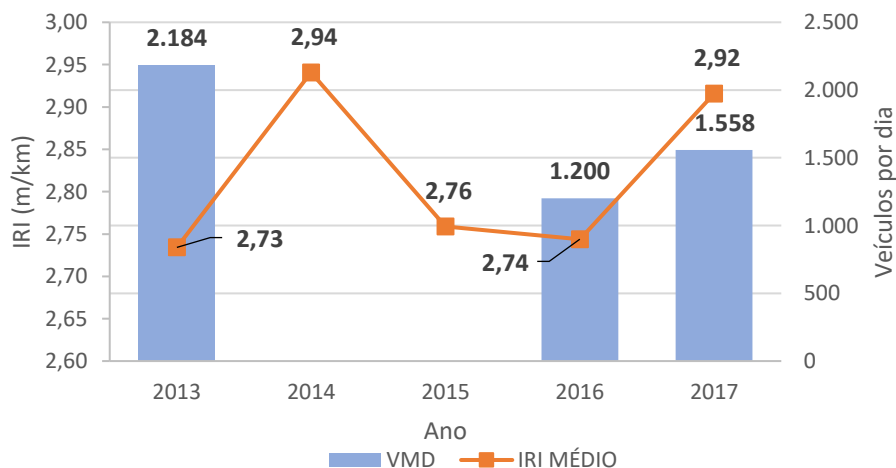


Figura 6: Relação do VMD anual com o IRI entre os anos de 2013 e 2017 no Trecho 01 da BR – 020

Mesmo com a redução do VMD entre 2013 e 2016, é pouco provável a tendência de redução do IRI. Apesar da redução do VMD em 2016 e o aumento em 2017, o valor do IRI sofreu acréscimo entre os anos de 2016 e 2017 em ritmo semelhante ao ocorrido entre 2013 e 2014, o que representa um aspecto a ser destacado.

Na Figura 7, referente aos dados do Trecho 02 da BR – 020 (Km 69 ao Km 70), observa-se uma constância do VMD em todos os períodos analisados e uma elevação do valor do IRI até 2015 e, em seguida, um leve aumento de 0,03 m/km entre 2016 e 2017 (de 1,02 m/km para 1,05 m/km).

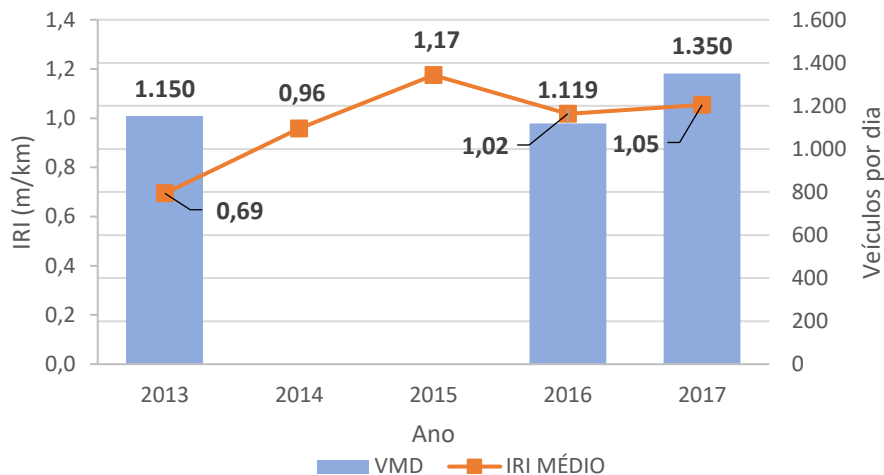


Figura 7: Relação do VMD anual com o IRI entre os anos de 2013 e 2017 no Trecho 02 da BR-020

Na Figura 7, pode-se perceber que houve uma variação menos acentuada nos valores de VMD no decorrer dos anos de 2013 e 2016 (de 1150 para 1119), apesar de um leve aumento em 2017. De um modo geral, essa estagnação, inclusive, pode ter contribuído, para que os valores de IRI, também, não variassem significativamente nos anos de 2016 e 2017, o que mostra que, para esse trecho, os dois parâmetros podem estar, de certa forma, relacionados. De qualquer forma, esse aumento no IRI de 0,03 m/km entre 2016 e 2017 foi pouco significativo, o que significa, praticamente, que a condição funcional do trecho pesquisado está inalterada.

5. CONCLUSÕES

Pode-se colocar que a principal contribuição desta pesquisa foi verificar, do ponto de vista funcional e operacional, as condições apresentadas por determinados trechos de rodovias federais brasileiras localizadas no estado do Ceará. A partir da análise do IRI, pode-se tentar verificar a correlação entre esse parâmetro com outra variável, como o VMD.

Com relação ao IRI, de um modo geral, todos os trechos analisados apresentaram comportamentos de regular a bom, mostrando que esses pavimentos, ainda não estão, do ponto de vista funcional, em condições insatisfatórias de conforto ao rolamento. Algo a ser destacado é que, no decorrer dos anos, não necessariamente, as rodovias receberão um acréscimo na quantidade de tráfego, pois há uma tendência de criação de novas rotas comerciais com a construção de estradas. Isso permite um equilíbrio maior na distribuição do número de veículos nas rodovias, evitando sobrecargas que podem vir a prejudicar o pavimento posteriormente.

No que diz respeito à relação entre o IRI e o VMD, pode-se constatar, para os trechos de rodovias analisadas, que não é algo expresso de forma proporcional ou com uma tendência significativa, pois o aumento de uma determinada variável de análise não significa, necessariamente, o acréscimo do outro parâmetro. Com relação a isso, deve-se levar em conta que os dados foram levantados por única empresa com o mesmo equipamento e, provavelmente,

os valores de IRI, nos trechos das rodovias estudadas, podem ter sido obtidos de forma inadequada, tendo em vista as suas taxas de decréscimo sem explicação aparente. Portanto, pode-se destacar, de um modo geral, a inexistência ou fraca correlação entre VMD e IRI, e, essa análise foi prejudicada pela ausência de dados VMD entre 2014 e 2015 e pela menor confiabilidade de obtenção dos dados.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao DNIT, no estado do Ceará, pela disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L.C. (2018) *Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias*. 93 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Barella, R.M. (2008) *Contribuição para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos com perfilômetros inerciais*. 362 f. Dissertação de Doutorado em Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Campos, A.C.R. (2004) *Métodos de previsão de desempenho de irregularidade longitudinal para pavimentos asfálticos: aplicação e proposição de critérios de ajuste*. 273 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- DNER (1994) *PRO 164 – Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície do pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter)*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro.
- DNIT (2011) *Manual de gerência de pavimentos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) *Manual de restauração de pavimentos asfálticos*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro.
- Echeverria, J.A.S. (2011) *Avaliação do efeito de restaurações com fresagem e recapeamento nas condições funcional e estrutural de pavimentos com volume de tráfego médio*. 157 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Frajuca, C. (2017) Uso de telefones inteligentes e acelerômetros *mems* como ferramenta para detecção de irregularidades longitudinais em pavimentos viários. *POSGERE*, v. 1, n. 4, p. 26-38.
- Hunt, P. e Bunker, J. (2004) Roughness deterioration of bitumen sealed pavements. In: Gordon, Ron and Robertson, Neil and Kazmierowski, Tom (eds.) *Proceedings 6th International Conference on Managing Pavements*. Brisbane, Austrália.
- Lee, D. e Chatti, K. (2002) Development of a new profile based truck dynamic load index (DLI). *Transportation Research Board, 81 Annual Meeting*, Washington D.C., p 149 – 159.
- Lerch, R.L. (2002) *Previsão de irregularidade pós-recapê em rodovias do RS: ajuste do modelo HDM-4*. 108 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Marques, B.P. (2017) *Avaliação do impacto dos contratos de desempenho na vida útil dos pavimentos das rodovias federais brasileiras*. 62 f. Monografia em Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Vogel, C.R. (2015) *Acompanhamento da irregularidade longitudinal pós-restauração de pavimento em concreto asfáltico de rodovia estadual do noroeste do Estado do Rio Grande do Sul*. 59 f. Monografia em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Santa Rosa.
- Wen, H. e Chen, C. (2007). Factors Affecting Initial Roughness of Concrete Pavement. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, v. 21, n. 6, p. 459-464.

Tiago Silveira de Andrade Aquino (silveraq@gmail.com)

Francisco Arthur Alves de Oliveira (noronha_arthur@hotmail.com)

Webert Brasil Cirilo da Silva (webertcirilo@hotmail.com)

Francisco Heber Lacerda de Oliveira (heber@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará

Rua Armando Farias, Bloco 703, Campus do Pici – Fortaleza, CE, Brasil