

## 21ª RPU – REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO URBANA

São Paulo, SP – Transamérica Expo - 12 e 13 De setembro de 2018

### ESTUDO DAS EQUAÇÕES DE CORRELAÇÃO ENTRE IP E IRI DESENVOLVIDAS PELA FHWA EM PAVIMENTO RÍGIDO LOCALIZADO NO ESTADO DO CEARÁ

*Haikel Baganem Busgaib Gonçalves<sup>1</sup>; Francisco Heber Lacerda de Oliveira<sup>2</sup>; José Breno Ferreira Quariguasi<sup>3</sup> & Marcos Fábio Porto de Aguiar<sup>4</sup>*

#### RESUMO

Diante da importância da manutenção rodoviária, existe a necessidade de analisar o comportamento dos pavimentos durante o seu período de operação. O perfil longitudinal é um parâmetro importante que representa as condições de desempenho do pavimento, e para facilitar a sua representação, foram desenvolvidos vários índices que representam o perfil ao longo da via, tais como o IP (Índice de Perfil) e o IRI (*International Roughness Index*, ou Índice de Irregularidade Internacional). Com a finalidade de compatibilizar os resultados obtidos com esses índices, tornam-se importantes os estudos que os correlacionem, obtendo assim equações que transformem valores de IP em valores de IRI. Com base em dados obtidos pela FHWA (*Federal Highway Administration*), foram desenvolvidas equações de correlação entre esses dois índices baseados nas condições climáticas e de projeto dos pavimentos analisados. Ao se aplicar essas equações em dados de IP obtidos no trecho urbano na Rodovia 4º Anel Viário, em Fortaleza, estado do Ceará, foram determinados valores de IRIC (IRI de correlação) que, ao serem comparados aos dados de IRI obtidos em campo, apresentaram um baixo índice de correlação. Contudo, ao comparar-se as condições de trafegabilidade estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) nos mesmos trechos, verifica-se uma concordância de mais de 80,00% dos resultados, tornando viável o uso das equações desenvolvidas pela FHWA para comparar o nível de desempenho na vida útil do pavimento estudado, independente dos dados de perfil analisados serem o IP ou o IRI.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pavimentação, Irregularidade, Correlação, Perfil.

#### ABSTRACT

Due the importance of roads maintenance, there is a necessity to analyze the behavior of the pavements during its operation period. The road's longitudinal profile is an important parameter which represents its performance level, and to subservise the representation of the pavement roughness, several indexes were developed, such as the PI (Profile index) and the IRI (International Roughness Index). Aiming the compatibilization of these indexes, researches are required to develop formulas to convert PI values to IRI values. Based on several roads's climatics and design data gathered by the FHWA (Federal Highway Administration), equations were developed in order to correlate these indexes. After applying these equations on the brazilian (Fortaleza/Ceará) road Rodovia 4º Anel Viário's PI values, IRIC (correlation IRI) numbers were calculated and compared with IRI data gathered in the road, obtaining a low correlation index. Although, after the comparing IRI's and IRIC's trafficability condition determined by DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), is verified a concordance of over 80,00%, making viable the use of these equations developed by the FHWA to compare the performance during the pavement lifetime, independently if the index adopted was the PI or the IRI.

**KEY WORDS:** Pavement, Roughness, Correlation, Profile.

<sup>1</sup> Engenheiro Civil. Pesquisador visitante da Universidade Federal do Ceará. Professor da Faculdade Evolutivo. Av. Oliveira Paiva, 800, Fortaleza-Ce. CEP 60822-131. haikelbusgaib@gmail.com.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Transportes. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza-Ce. CEP 60440-900. heber@det.ufc.br.

<sup>3</sup> Mestrando em engenharia de transportes. Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Bloco 703. Fortaleza-Ce. CEP 60440-900. breno\_92@yahoo.com.br.

<sup>4</sup> Doutor em Geotecnia. Professor Associado. Departamento de Construção Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Fortaleza-Ce. CEP 60040-531. marcosfpa@hotmail.com.



## INTRODUÇÃO

A infraestrutura de transporte corresponde a um conjunto de técnicas que se dedicam ao deslocamento de pessoas e mercadorias. Tal ferramenta é de extrema importância para o desenvolvimento de qualquer nação, sendo responsável pelo escoamento e venda de mercadorias, além de fomentar atividades turísticas.

No Brasil, as atividades de transporte são predominantemente realizadas por meio da modalidade rodoviária. Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2017), esse modo de transporte é responsável por cerca de 60% do transporte de cargas no país. Nesse contexto, verifica-se a importância da manutenção das rodovias nacionais para que se tenha um escoamento de produção e de pessoas mais seguro e confortável.

Para Smith *et al.* (1996), a suavidade do pavimento é considerada uma das mais importantes indicadoras da qualidade da construção. A CNT (2017) afirma ainda que os defeitos e as irregularidades na condição da superfície dos pavimentos rodoviários impactam diretamente os custos operacionais, em virtude dos maiores gastos com a manutenção dos veículos, consumo de combustível e pneus, elevação dos tempos de viagem, entre outros.

Com base nesses aspectos, verifica-se a necessidade de desenvolver e aprimorar técnicas de análise de condições de superfície dos pavimentos como o IP (Índice de Perfil), utilizado no Brasil, principalmente, para pavimentos de concreto e o IRI (*International Roughness Index* ou Índice Internacional de Irregularidade), obtendo assim dados que identifiquem o seu presente estado de conservação do ponto de vista do conforto ao rolamento.

Segundo a *Federal Highway Administration* (FHWA, 2002), para representar adequadamente a opinião de motoristas quanto às condições das rodovias, muitos departamentos e agências rodoviárias estão mudando seus critérios de avaliação de irregularidade do IP para o IRI devido à precisão e à produtividade fornecida pelo equipamento usado para a obtenção do índice, o Perfilômetro Inercial a Laser. Para o órgão, a obtenção de equações de correlação entre esses parâmetros para determinadas condições climáticas e de projeto é fundamental para que se tenha o IRI como índice de irregularidade padrão.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é verificar se as equações de correlação entre o IP e o IRI desenvolvido pela FHWA apresenta valores compatíveis com os dados levantados no trecho urbano da rodovia 4º Anel Viário no estado do Ceará.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Bowman *et al.* (2002), por muitos anos a qualidade de rolamento da superfície do pavimento não era mensurada e para um pavimento ser considerado aceitável ele deveria ser ao menos trafegável. No entanto, há muitos anos, os técnicos tentam quantificar a qualidade de rolamento dos pavimentos, sendo um dos primeiros equipamentos criados o perfilógrafo em 1920, nos Estados Unidos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Carey e Irick (1960) conceberam o primeiro método de forma sistemática para avaliação funcional da serventia de determinado trecho para as pistas experimentais na *Road Test* da ASSHO. De acordo com Bernucci *et al.* (2008), a avaliação funcional é a relação da apreciação da superfície dos pavimentos e como este estado pode influenciar no conforto ao rolamento.

O conforto ao rolamento, de acordo com Oliveira e Albuquerque (2017), está relacionado ao perfil longitudinal da superfície do pavimento, uma vez que as patologias presentes na superfície podem impactar no veículo causando desconforto ao usuário, isso se dá através de vibrações transmitidas ao veículo. DNIT (2004a, 2004b) quantificam, de forma subjetiva, o grau de conforto e suavidade ao rolamento, além de instruir um procedimento de avaliação objetiva por meio da quantificação de índices de qualidade de perfil. Os índices mais usados para fazer essa quantificação são o Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index*, ou IRI), Índice de Perfil (IP), *Ride Number* (RN) e Quociente de Irregularidade (QI).

Para Sayers e Karamihas (1998), o IP é um valor que representa várias elevações relativas à um nível de referência. Já o IRI trata-se da continuação da análise estatística de rugosidade que foi desenvolvido com o objetivo de se adquirir dados de rugosidade mais precisos. Segundo os autores, as medidas de IRI obtidos entre vários países são bem compatíveis.

A irregularidade longitudinal da superfície, para Paterson (1987), afeta o movimento dinâmico dos veículos, aumentando o seu desgaste e dificultando seu manuseio, causando impactos consideráveis nos custos operacionais, na segurança, no conforto e na velocidade de tráfego. Segundo o autor, o excesso de irregularidade aumenta os efeitos causados por cargas dinâmicas, o que acelera a deterioração da estrutura e da capacidade de drenagem do pavimento.

Os equipamentos para medida de irregularidade longitudinal podem ser classificados em: avaliação direta e avaliação indireta. Os de avaliação direta são classificados por serem capazes de medir o perfil longitudinal estando o equipamento em contato ou não com o pavimento. Já os de avaliação indireta fazem o levantamento do perfil longitudinal a partir da reação de um dispositivo ou suspensão do veículo enquanto trafega sobre o pavimento.

### **Irregularidade de superfície dos pavimentos de concreto**

Segundo Vieira e Soares (2012), irregularidade de superfície pode ser entendida como o somatório das diferenças entre as cotas da superfície estudada e a cota da superfície especificada em seu projeto geométrico. Harvey *et al.* (2000) afirma que os principais causadores desse fenômeno em pavimentos de concreto são a fadiga, ocasionada pela influência do tráfego e pela variação térmica ao longo do dia; a erosão, ocasionada principalmente pela chuva; e o esborcinamento do concreto em juntas e trincas causados pela falta de distribuição de cargas.

Para Nakahara e Balbo (2006), não existe um mecanismo principal que possa ser atribuído à alteração da irregularidade do pavimento, ou seja, os diferentes defeitos combinados contribuem para o seu aumento.

### **Estudo de perfil longitudinal**

Pontes Filho (1998) define o perfil longitudinal como a representação da estrada sobre uma superfície cilíndrica vertical que contém o eixo da estrada em planta. Segundo o autor, o traçado do perfil longitudinal é um dos elementos que compõem o projeto geométrico de uma via e deve indicar dados importantes como o perfil do terreno, a linha de greide, rampas, raios das curvas, dentre outros.

Além do traçado de projeto, existem formas de medir o perfil da rodovia após ser executada. Para Oliveira e Albuquerque (2017), o perfil de uma rodovia pode ser medido no sentido



longitudinal e/ou transversal, que representam a elevação da superfície de rolamento e a inclinação transversal, respectivamente, em relação a um plano de referência e no sentido do tráfego.

Ao comparar o perfil traçado no projeto e o perfil atual da via, pode-se obter dados sobre o desempenho e a condição da via. Ainda conforme Oliveira e Albuquerque (2017), é por meio da comparação desses dois perfis que podem ser detectados defeitos como saliências e depressões. Os autores citam que isto é possível quando, a partir das medições do perfil superficial, obtém-se um gráfico denominado perfilograma, representado no eixo das ordenadas pela elevação na superfície do pavimento (relativa ao perfil ideal) e no eixo das abcissas a distância percorrida.

O IP e o IRI são índices obtidos a partir dessa comparação. A importância desses valores está em sintetizar a condição geral da via ou de um determinado trecho, apresentando valores que devem ser comparados aos exigidos por DNIT (2013).

### **Índice de Perfil**

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2014) explica que o índice de perfil pode ser obtido por meio da razão entre a soma das irregularidades no trecho pelo comprimento analisado. O California Test 526 (2012) descreve que o IP pode ser determinado por equipamentos que realizam a coleta dos dados tanto por meios mecânicos como por meios eletrônicos.

No Brasil, o DNIT (2013) determina o Perfilógrafo Califórnia como o equipamento padrão para a determinação do IP em pavimentos de concreto de cimento Portland. O órgão ainda cita que esse equipamento deve ser usado logo após a construção do pavimento com o objetivo de se obter o IP de seus trechos, estabelecendo que não devem ser tolerados valores de IP superior a 240 mm/km para pavimentos de concreto.

Smith *et al.* (2002) cita que os perfilógrafos possuem uma tendência de diminuir os comprimentos de ondas durante as medições de perfil, o que pode comprometer a confiabilidade dos dados fornecidos. Além disso, o equipamento apresenta um baixo nível de produtividade frente a outras formas de medição, como o Perfilometro Inercial a Laser.

California Test 526 (2012) explica ainda que os valores adotados nos cálculos devem superar aos de uma faixa de tolerância denominada de *blanking band*. Essa faixa pode variar entre 0 e 5 mm, dependendo do nível de precisão desejado e do equipamento utilizado.

### ***International Roughness Index (IRI)***

Segundo Oliveira e Albuquerque (2017), o IRI surgiu a partir da pesquisa internacional de avaliação de pavimentos, coordenado pelo Banco Mundial com participação dos Estados Unidos, França, Bélgica, Reino Unido e Brasil. O valor pode ser obtido com o procedimento normatizado pela ASTM (2001), que define o procedimento padrão para cálculo do IRI a partir do perfil longitudinal.

O IRI é baseado na simulação da resposta de um quarto-de-carro (Figura 1) com parâmetros específicos, cujos valores são indicados. É uma medida absoluta, transferível (entre veículos diferentes) e estável no tempo, que representa o efeito da irregularidade do perfil na circulação

de um veículo. É definido pela relação entre os deslocamentos relativos acumulados da suspensão de um quarto-de-carro e a distância percorrida a uma velocidade de 80 Km/h. (RODRIGUES, 2013)

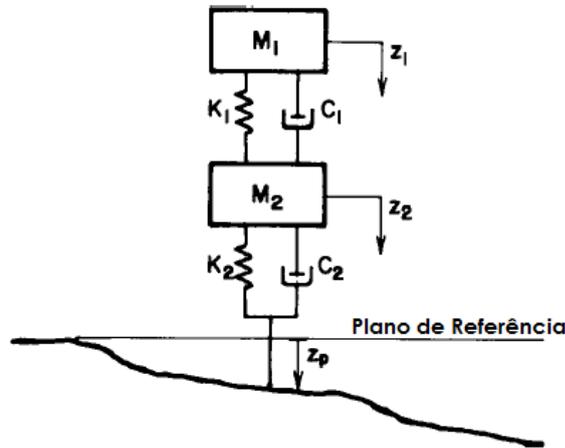


Figura 1. Modelo de quarto-de-carro (ASTM, 2001).

O DNIT (2011), para auxiliar na avaliação qualitativa da irregularidade do pavimento, estabelece os valores de IRI correspondentes às condições de trafegabilidade da via. A Tabela 1 apresenta os limites de IRI para cada condição de trafegabilidade para pavimentos flexíveis.

Tabela 1. IRI (m/km) x Condições de Trafegabilidade. (adaptado de DNIT, 2011)

| IRI x Condições de Trafegabilidade |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| Ótima                              | $IRI \leq 2,0$       |
| Boa                                | $2,0 < IRI \leq 2,7$ |
| Regular                            | $2,7 < IRI \leq 3,5$ |
| Ruim                               | $3,5 < IRI \leq 5,5$ |
| Péssimo                            | $IRI > 5,5$          |

O pedido de medição de IRI pelas agências rodoviárias brasileiras geralmente ocorrem devido à necessidade de acompanhar e manter a via em bom estado de conservação. Geralmente, essa medição é realizada com o uso do Perfilômetro Inercial a Laser (PIL), que consiste em um equipamento óptico que é acoplado a um veículo e que mede a irregularidade por meio da reflexão de uma série de lasers que são atirados sobre superfície do pavimento.

### Correlação entre IP e IRI

A FHWA (2002) afirma que o IRI é um índice que representa melhor a opinião dos usuários quanto as condições das estradas avaliadas e, com base nessa informação, destaca que a importância da correlação entre o IP e o IRI está na obtenção de equações que transformem dados de IP antigos em IRI para que se tenha um maior inventário de dados históricos sobre o índice. O órgão desenvolveu então equações de correlação através do uso de gráficos de dispersão e utilizando linhas de tendência, obtendo assim retas que representam uma função que correlaciona os índices em questão.

Devido às particularidades apresentadas nos dados coletados pelo órgão, as equações desenvolvidas foram distinguidas conforme as condições do clima e do tipo de revestimento que se deseja fazer a conversão. O órgão divide as zonas climáticas em quatro tipos,

dependendo das características de umidade relativa do ar e do congelamento do pavimento: seco e congelado (DF, do inglês *dry freeze*), seco e não congelado (DNF, do inglês *dry non-freeze*), úmido e congelado (WF, do inglês *wet freeze*) e úmido e não congelado (WNF, do inglês *wet non-freeze*). Na Tabela 2 encontram-se as equações de conversão obtidas pela FHWA (2002) a partir da análise dos dados.

Tabela 2. Equações de correlação obtidas pela FHWA. (Adaptado de FHWA, 2002)

| Tipo de Pavimento | Clima      | Blanking Band (mm) | Equação de correlação<br>(IRI em m/km; IP em mm/km) | R <sup>2</sup> |
|-------------------|------------|--------------------|---|----------------|
| CA                | 1, 2, 3, 4 | 0,0                | IRI = 2,66543.IP + 213,01                           | 0,89           |
| CA                | 1, 2, 3, 4 | 5,0                | IRI = 3,78601.IP + 887,51                           | 0,77           |
| CA sobre CA       | 1          | 0,0                | IRI = 2,74599.IP + 265,42                           | 0,91           |
| CA sobre CA       | 2          | 0,0                | IRI = 2,68169.IP + 274,67                           | 0,81           |
| CA sobre CA       | 3, 4       | 0,0                | IRI = 2,42295.IP + 301,90                           | 0,84           |
| CA sobre CA       | 1          | 5,0                | IRI = 4,25316.IP + 957,80                           | 0,79           |
| CA sobre CA       | 2          | 5,0                | IRI = 4,39478.IP + 883,20                           | 0,45           |
| CA sobre CA       | 3, 4       | 5,0                | IRI = 3,42671.IP + 876,80                           | 0,63           |
| CA sobre CCP      | 1, 2, 3, 4 | 0,0                | IRI = 2,40300.IP + 292,93                           | 0,79           |
| CCP               | 1, 3       | 0,0                | IRI = 2,12173.IP + 439,76                           | 0,84           |
| CCP               | 2          | 0,0                | IRI = 2,58454.IP + 423,09                           | 0,88           |
| CCP               | 4          | 0,0                | IRI = 2,35820.IP + 317,19                           | 0,84           |
| CCP               | 1, 3       | 5,0                | IRI = 2,62558.IP + 1205,73                          | 0,77           |
| CCP               | 2          | 5,0                | IRI = 3,51673.IP + 1226,35                          | 0,72           |
| CCP               | 4          | 5,0                | IRI = 2,87407.IP + 1229,63                          | 0,74           |

LEGENDA: CA = Concreto Asfáltico; CCP = Concreto de Cimento Portland.

1 = DF; 2 = DNF; 3 = WF; 4 = WNF.

## MÉTODO DE PESQUISA

Os dados analisados neste trabalho foram obtidos a partir de relatórios de levantamento de irregularidade longitudinal da Rodovia 4º Anel Viário no seu trecho urbano da cidade de Fortaleza fornecidos pelo Departamento de Estadual de Rodovias do Estado do Ceará (DER-CE). Neles constam os resultados de IP e IRI da rodovia obtido através do uso do Perfilógrafo Califórnia e do Perfilômetro Inercial a Laser, realizados no ano de 2014, por empresas especializadas.

Com base na revisão bibliográfica descrita anteriormente, foi escolhida a equação da Tabela 2 que fosse mais apropriada à região da rodovia, conforme as condições do tipo de pavimento, clima e *Blanking Band*. Por meio de planilhas eletrônicas, foram aplicados os valores de IP obtidos em campo na equação de correlação entre IP e IRI. Os valores de IRI obtidos com o uso da equação (denominado IRI<sub>c</sub>) foram então comparados com os valores obtidos nos ensaios por meio do valor do coeficiente de correlação (R) e, também, foi feito um teste de hipótese para determinar se a correlação é significativa. Além disso, foi feita uma comparação dos resultados qualitativos obtidos com os IRIs com a finalidade de verificar o parecer dos índices quanto ao conforto do usuário.

## Descrição da obra

A pesquisa foi realizada na Rodovia BR-020 – 4º Anel Viário, que interligam as rodovias CE-040 e BR-020, passando por cinco municípios da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) e chegando ao Porto do Pecém. Tal obra contempla 32,1 km de extensão, dos quais 26,1 km são constituídos de pavimento rígido e 6 km de pavimento flexível. Tal região é caracterizada pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2018) como sub-úmido/úmido, apresentando uma precipitação anual de 1.607,6 mm e umidade relativa do ar média de 79,0%

## Escolha dos segmentos analisados

A irregularidade longitudinal foi obtida em dois segmentos, totalizando 2,20 km de pavimento rígido. Foram realizadas leituras das duas trilhas de roda, nos dois sentidos de tráfego, com um Perfilógrafo Califórnia (PC) para determinação do IP e com um Perfilômetro Inercial a Laser (PIL) para a determinação do IRI. Os resultados foram obtidos foram anotados a cada 200 m.

A Tabela 3 apresenta os resultados de IP e de IRI presente nos relatórios. Os segmentos foram divididos em 22 trechos. Os Trechos 3 e 4 das Faixas 1 e 2 do Segmento 2 correspondem a uma ponte e por isso não foram realizadas leituras nesse local.

Tabela 3. Resultados de IP correspondentes aos segmentos 1 e 2

| Seguimento | Faixa | Trecho | Marco Inicial (m) | Marco Final (m) | IP (mm/km) |  | IRI (m/km) |  |
|------------|-------|--------|-------------------|-----------------|------------|--|------------|--|
|            |       |        |                   |                 | PC         |  | PIL        |  |
| 1          | 1     | 1      | 0                 | 200             | 339        |  | 2,52       |  |
|            |       | 2      | 200               | 400             | 278        |  | 2,35       |  |
|            |       | 3      | 400               | 600             | 193        |  | 2,33       |  |
|            |       | 4      | 600               | 800             | 455        |  | 2,78       |  |
|            |       | 5      | 800               | 1000            | 482        |  | 2,07       |  |
|            | 2     | 1      | 0                 | 200             | 466        |  | 2,65       |  |
|            |       | 2      | 200               | 400             | 395        |  | 3,18       |  |
|            |       | 3      | 400               | 600             | 205        |  | 2,46       |  |
|            |       | 4      | 600               | 800             | 439        |  | 2,00       |  |
|            |       | 5      | 800               | 1000            | 626        |  | 2,37       |  |
| 2          | 1     | 1      | 0                 | 200             | 274        |  | 2,11       |  |
|            |       | 2      | 200               | 400             | 192        |  | 2,16       |  |
|            |       | 3      | 400               | 600             | Ponte      |  | Ponte      |  |
|            |       | 4      | 600               | 800             | Ponte      |  | Ponte      |  |
|            |       | 5      | 800               | 1000            | 180        |  | 1,88       |  |
|            |       | 6      | 1000              | 1200            | 242        |  | 2,27       |  |
|            | 2     | 1      | 0                 | 200             | 346        |  | 2,11       |  |
|            |       | 2      | 200               | 400             | 165        |  | 2,00       |  |
|            |       | 3      | 400               | 600             | Ponte      |  | Ponte      |  |
|            |       | 4      | 600               | 800             | Ponte      |  | Ponte      |  |
|            |       | 5      | 800               | 1000            | 277        |  | 1,84       |  |
|            |       | 6      | 1000              | 1200            | 264        |  | 1,73       |  |

### Equação de correlação utilizada

Dentre as equações desenvolvidas pela FHWA (2002), apresentadas na Tabela 2, foi adotada a Equação 1 por ser a mais adequada às condições encontradas na localização onde foram medidos o IP e o IRI, sendo caracterizado por pavimento de Concreto de Cimento Portland (CCP) e ambientes úmidos e sem congelamento.

$$IRI = 2,87407 \cdot IP_{5-mm} + 1229,63 \quad (1)$$

### ANÁLISE DE RESULTADOS

Com base nos valores apresentados na Tabela 3 e com o uso da Equação 1, obtiveram-se os resultados de IRI<sub>C</sub> (ou IRI obtido pela correlação) apresentados na Tabela 4. Os resultados obtidos nesse processo estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de IRI<sub>C</sub> obtidos.

| Seg. | Faixa | Trecho | Marco Inicial (m) | Marco Final (m) | IP (mm/km) | IRIC (m/km) | IRI (m/km) |
|------|-------|--------|-------------------|-----------------|------------|-------------|------------|
| 1    | 1     | 1      | 0                 | 200             | 339        | 2,20        | 2,52       |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 278        | 2,03        | 2,35       |
|      |       | 3      | 400               | 600             | 193        | 1,78        | 2,33       |
|      |       | 4      | 600               | 800             | 455        | 2,54        | 2,78       |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 482        | 2,61        | 2,07       |
|      | 2     | 1      | 0                 | 200             | 466        | 2,57        | 2,65       |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 395        | 2,36        | 3,18       |
|      |       | 3      | 400               | 600             | 205        | 1,82        | 2,46       |
|      |       | 4      | 600               | 800             | 439        | 2,49        | 2,00       |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 626        | 3,03        | 2,37       |
| 2    | 1     | 1      | 0                 | 200             | 274        | 2,02        | 2,11       |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 192        | 1,78        | 2,16       |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 180        | 1,75        | 1,88       |
|      |       | 6      | 1000              | 1200            | 242        | 1,92        | 2,27       |
|      | 2     | 1      | 0                 | 200             | 346        | 2,22        | 2,11       |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 165        | 1,70        | 2,00       |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 277        | 2,03        | 1,84       |
|      |       | 6      | 1000              | 1200            | 264        | 1,99        | 1,73       |

Os resultados de IRI<sub>C</sub> e IRI apresentaram um coeficiente de correlação (R) de 0,37, considerado baixo. Porém, ao comparar qualitativamente as condições de trafegabilidade correspondentes ao IRI estabelecidas pelo DNIT (2011), observa-se que em 83,3% dos casos, os resultados apresentam semelhança, variando de regular à boa. Na Tabela 5 estão discriminadas as condições funcionais obtidas para cada trecho.

Tabela 5. Resultados de condição de trafegabilidade conforme DNIT (2011)

| Seg. | Faixa | Trecho | Marco Inicial (m) | Marco Final (m) | IRIC (m/km) | Condição de Trafegab. | IRI (m/km) | Condição de Trafegab. |
|------|-------|--------|-------------------|-----------------|-------------|-----------------------|------------|-----------------------|
| 1    | 1     | 1      | 0                 | 200             | 2,20        | Boa                   | 2,52       | Boa                   |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 2,03        | Boa                   | 2,35       | Boa                   |
|      |       | 3      | 400               | 600             | 1,78        | Boa                   | 2,33       | Boa                   |
|      |       | 4      | 600               | 800             | 2,54        | Boa                   | 2,78       | Regular               |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 2,61        | Boa                   | 2,07       | Boa                   |
|      | 2     | 1      | 0                 | 200             | 2,57        | Boa                   | 2,65       | Boa                   |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 2,36        | Boa                   | 3,18       | Regular               |
|      |       | 3      | 400               | 600             | 1,82        | Boa                   | 2,46       | Boa                   |
|      |       | 4      | 600               | 800             | 2,49        | Boa                   | 2,00       | Boa                   |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 3,03        | Regular               | 2,37       | Boa                   |
| 2    | 1     | 1      | 0                 | 200             | 2,02        | Boa                   | 2,11       | Boa                   |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 1,78        | Boa                   | 2,16       | Boa                   |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 1,75        | Boa                   | 1,88       | Boa                   |
|      |       | 6      | 1000              | 1200            | 1,92        | Boa                   | 2,27       | Boa                   |
|      | 2     | 1      | 0                 | 200             | 2,22        | Boa                   | 2,11       | Boa                   |
|      |       | 2      | 200               | 400             | 1,70        | Boa                   | 2,00       | Boa                   |
|      |       | 5      | 800               | 1000            | 2,03        | Boa                   | 1,84       | Boa                   |
|      |       | 6      | 1000              | 1200            | 1,99        | Boa                   | 1,73       | Boa                   |

Através dos dados da Tabela 5, gerou-se um gráfico de dispersão, conforme exposto na Figura 2, e foi realizado um teste de hipótese para correlação, cuja hipótese nula representa  $\rho=0$  e a hipótese alternativa,  $\rho \neq 0$ , para um nível de significância de 5%. Muito embora o gráfico de dispersão expresse uma certa semelhança de tendência entre os dados plotados, os resultados encontrados demonstram que o coeficiente de correlação não é significativo, uma vez que o valor P foi superior ao nível de significância, Tabela 6.

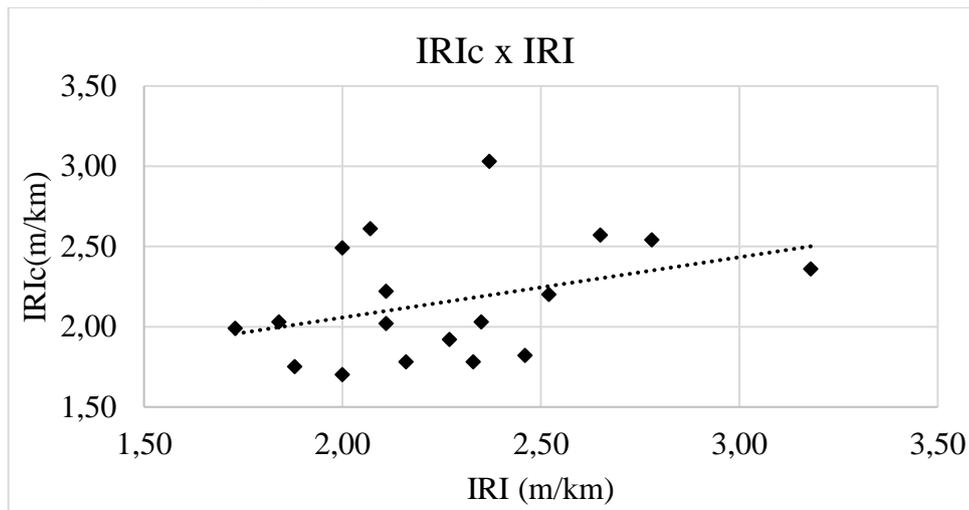


Figura 2. Gráfico de dispersão.

Tabela 6. Dados da análise estatística

|                      |       |
|----------------------|-------|
| Graus de liberdade   | 16    |
| T crítico            | 2,12  |
| Estatística de teste | 1,57  |
| Valor P              | 0,135 |

## CONCLUSÕES

Devido à produtividade do Perfilômetro Inercial a Laser, existe uma tendência de que o IRI seja um índice de irregularidade cada vez mais usados pelas agências rodoviárias, o que motiva pesquisas que facilitem o seu uso. O presente trabalho, por estudar a compatibilidade de uma equação de correlação desenvolvido em ambientes norte-americanos no Brasil, possui a relevância de mostrar um método de compatibilizar os índices IP e IRI de forma a facilitar a comparação e análise dos mesmos.

Embora a condição de trafegabilidade dos trechos analisados tenha apresentado resultados semelhantes em quase toda sua totalidade, os resultados de correlação demonstram que este modelo não é adequado para a região em questão. Portanto, talvez, quando o intuito da análise for apenas verificar a condição qualitativa do IRI, a equação possa vir a ser uma ferramenta útil.

Apesar da baixa correlação numérica entre o IRI e o IRI<sub>c</sub> para a equação abordada nesse trabalho, recomenda-se ainda que sejam feitos estudos comparativos das equações de correlação com condições climáticas distintas da rodovia analisada nesse trabalho, tais como climas de regiões temperadas.

Ressalta-se ainda que as equações usadas nesta pesquisa foram determinadas em condições climáticas aproximadas aos do país de origem e que, frente aos resultados apresentados nessa pesquisa, conclui-se que o mais adequado seja desenvolver equações de correlação próprias para as condições climáticas do local da rodovia estudada.

## REFERÊNCIAS

ASTM. *ASTM E1926-98 - Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements*. American Society of Testing and Materials. EUA, 2001.

ASTM. *ASTM E2955-13 - Standard Practice for Simulating Profilograph Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces*. American Society of Testing and Materials. EUA, 2014.

Bernucci, L. B.; Ceratti, J. A. P.; Motta, L. M. G.; Soares, J. B. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Petrobras, ABEDA. Rio de Janeiro, 2008.

Bowman, B. L.; Ellen, B. P e Gardiner, M. S. *Evaluation of pavement smoothness reduction and pay factor determination for Alabama department of transportation. Final Report on Alabama Department of Transportation*. Auburn, EUA, 2002.

California Test 526. *Method of Test for Operation of California Highway Profilograph and Evaluation of Profiles*. Department of Transportation Division of Engineering Services, EUA, 2012.

Carey, JR.; Irick, P. E. *The pavement serviceability-performance concept*. HRB Buletin nº 250, Washington, EUA, 1960.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2016**. Confederação Nacional dos Transportes. Brasília, 2017. Disponível em <<http://www.cnt.org.br>>. Acesso em 14 abr. 2018.

DNIT. **DNIT 049/2013 - ES: Execução de Pavimento Rígido com Equipamento de Fôrma-Deslizante**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, 2013.

DNIT. **DNIT 062/2004 - PRO: Pavimento Rígido – Avaliação Objetiva**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro, 2004a.

DNIT. **DNIT 063/2004 - PRO: Pavimento Rígido – Avaliação Subjetiva**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro, 2004b.

DNIT. **Manual de gerência de pavimentos**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, 2011.

FHWA. *Help with Converting Pavement Smoothness Specifications*. Federal Highway Administration. Virgínia, EUA, 2002

FUNCEME. **Dados de meteorologia do Ceará**. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em <<http://www.funceme.br>>. Acesso em junho de 2018.

Harvey, J. A.; Chong, J.; Roesler. *Climate regions for mechanistic-empirical pavement design in California and expected effects on performance*. Draft Report para California Department of Transportation. University of California. California, EUA, 2000.

Nakahara, S. M.; L. e Balbo, J. T. **Desenvolvimento de modelos de previsão de irregularidade através da análise de medidas repetidas.** Anais do XX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2006.

Oliveira, R. F. S. de; Albuquerque, F. S. **Avaliação de perfil longitudinal de pavimento de concreto de cimento Portland com perfilômetro inercial a laser.** Revista Transportes. Brasil, 2017.

Paterson, W. D. O. **Road Deterioration and Maintenance Effects.** *The Highway Design and Maintenance Standards Series*, Washington, EUA, 1987.

Pontes Filho, G. **Estradas de rodagem: Projeto geométrico.** Editora Glauco Pontes Filho. São Paulo, 1998.

Rodrigues, C. M. A. **Modelos de previsão da degradação de pavimentos: parâmetro IRI.** Universidade Nova de Lisboa - Dissertação de mestrado. Nova Lisboa, Portugal, 2013.

Sayers, M. W.; Karamihas, S. M. **The Little Book of Profiling.** University of Michigan, 1998. Disponível em: <<http://www.umtri.umich.edu/content/LittleBook98R.pdf>> Acesso em agosto de 2017.

Smith, K. L.; Smith, K. D.; Evans, L. D.; Hoerner, T. E.; Darter, M. **Smoothness specifications for pavements.** *Transportation Research Board*. Washington, EUA, 1996.

Smith, K. L.; Glover L. T.; Evans L. D. **Pavement Smoothness Index Relationships,** FHWA-RD-02-057. Washington, EUA, 2002

Vieira R.; Soares E. M. **Avaliando pavimentos.** *Revista Notícias da Construção.* Sinduscon. São Paulo, 2012