

PTR3521 - Avaliação e Reabilitação de Pavimentos

Celso Ribeiro

8995096

Flávio de Falcão

8995012

Flávio Tapajós

8992412

Rafael Kobayashi

8991582

Seminário 1

Avaliação da irregularidade longitudinal:

- formas de avaliação
- diferentes índices



Uso de smartphones para avaliação da irregularidade longitudinal:

- principais desafios



Definição

De acordo com a norma brasileira DNER 164/94, Irregularidade Longitudinal é definida como:

"...o desvio da superfície da rodovia, em relação a um plano de referência, que afeta a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento e as cargas dinâmicas sobre a via."



Definição

Essa irregularidade do pavimento tem como razão, entre outras causas:

- Problemas de construção,
- Falta de manutenção,
- E (ou) defeitos oriundos da ação do tráfego e do clima, principalmente das deformações permanentes do revestimento e do subleito.

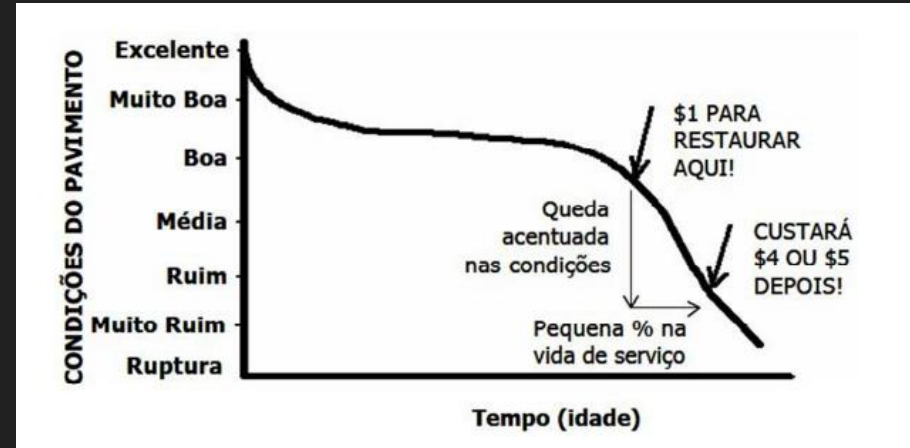


Origem

- AASHO Road Test".
 - Foi uma série de experimentos realizados pela [American Association of State Highway and Transportation Officials](#) (AASHTO), para determinar como o tráfego contribui para a deterioração dos pavimentos nas rodovias.
 - Um ponto interessante desse teste é que se permitiu comprovar empiricamente, por meio do fator de equivalência de carga, que os veículos mais pesados reduziram a usabilidade em um tempo muito mais curto que os veículos leves.

Serventia

O conceito de serventia pode ser aplicado mais amplamente e ser usado, a partir da opinião de diferentes tipos de usuários, para determinar a qualidade de rolagem para um veículo específico. A partir da aferição do nível de qualidade da pista de rolagem, pode-se definir limites de aceitação, a partir dos quais seria necessário tomar providências de reparo ou substituição do pavimento em questão.



Índices e Métricas

Atualmente, diferentes métricas de avaliação das irregularidades longitudinais nos pavimentos são adotadas, dentre elas destacam-se os índices QI e IRI de acordo com os modelos normalizados pelo DNER-ES 173/86 e ASTM E 1926-98



Índices e métricas

- Esses índices são obtidos a partir de leituras de campo, com a utilização de equipamentos específicos, que são correlacionadas com os supracitados índices de irregularidade levando-se em conta modelos de correlação elaborados especificamente para aquele equipamento.
- Tais modelos possibilitam a eliminação de erros de medição através de tratamento estatístico

Índices e métricas: Tolerância

A faixa de tolerância para os índices de irregularidade tem sido matéria de discussão, com diferentes países adotando diferentes valores. A OCDE recomenda a seguinte escala:

Tabela 1. Classificação funcional para rodovias pavimentadas (OCDE)

IRI (m/km)	QI (cont/ km)	V ^(a) (km/h)	Condição funcional	Categoria OCDE
≤ 3	≤ 39	>120	Excelente	1
>3 e ≤ 6,5	> 39 e ≤ 84,5	100-120	Aceitável	2
>6,5 e ≤8,5	> 84,5 e ≤ 110,5	70-90	Tolerável	3
>8,5 e ≤10,5	>110,5 e ≤136,5	50-60	Intolerável	4
>10,5	>136,5	< 50	Péssima	5

V ^(a) = velocidade de tráfego “confortável”

Índices e métricas: compatibilidade

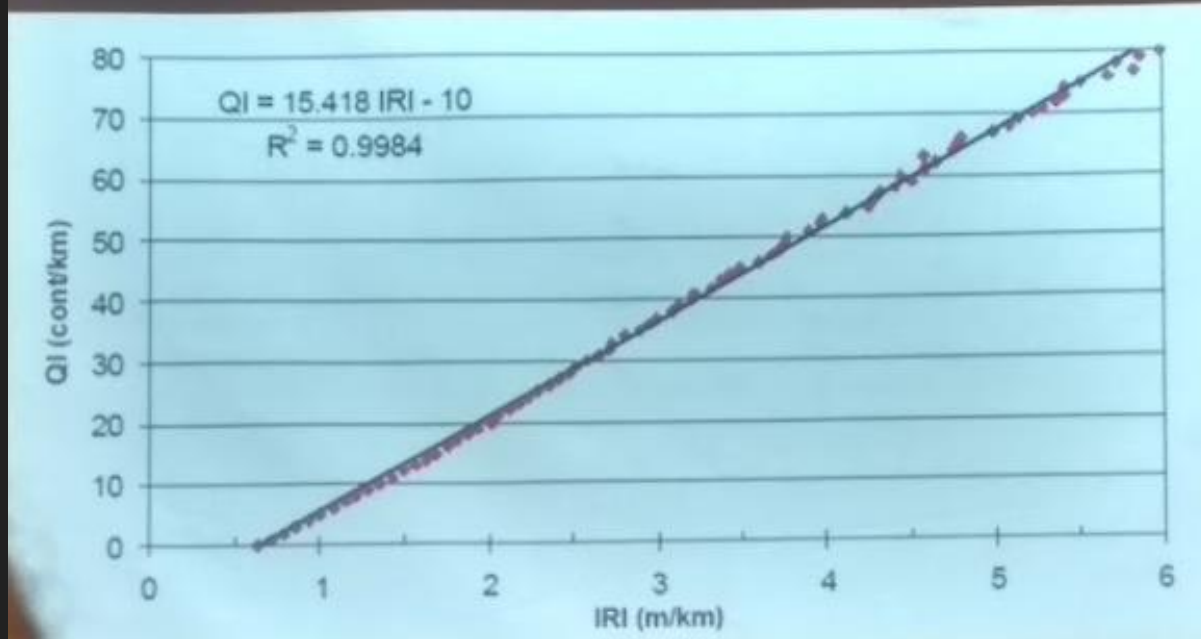
- É interessante destacar que no Brasil o índice oficial utilizado é o QI (Quociente de Irregularidade)
- Diversas empresas e concessionárias utilizam o IRI (International Roughness Index)
- Se faz necessário um modelo de conversão:
 - PATERSON (1986)
 - PATERSON (1987)

Índices e métricas: compatibilidade

$$IRI = \frac{QI + 10}{14}$$

$$IRI = \frac{QI^*}{13}$$

Paterson, 1986, 1987



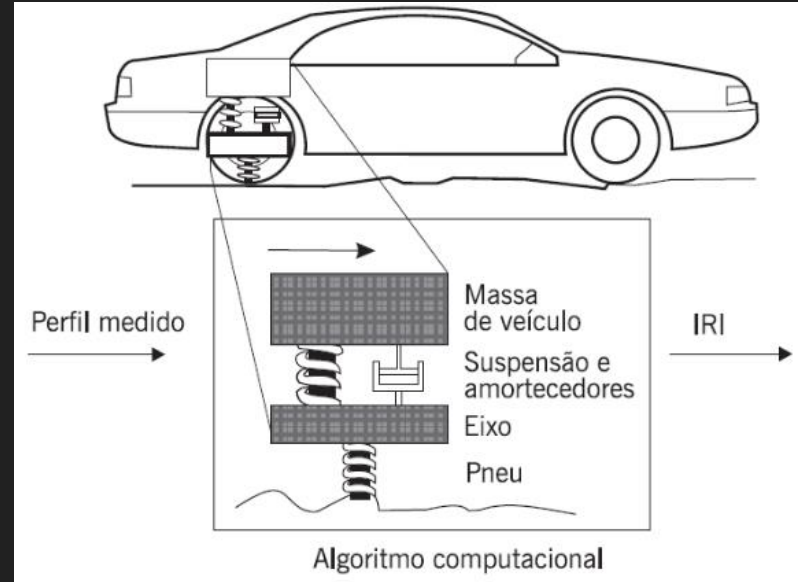
Equipamentos para medição

- No Brasil, existem principalmente dois tipos de equipamentos
 - Equipamentos do tipo resposta
 - Baratos, porém menos precisos
 - Minoria no mundo, maioria no Brasil
 - Perfilômetros Inerciais
 - Alta Precisão e confiabilidade
 - Preço chega a ser 10x maior que o equipamento tipo resposta

Equipamentos para medição

Equipamentos do tipo resposta:

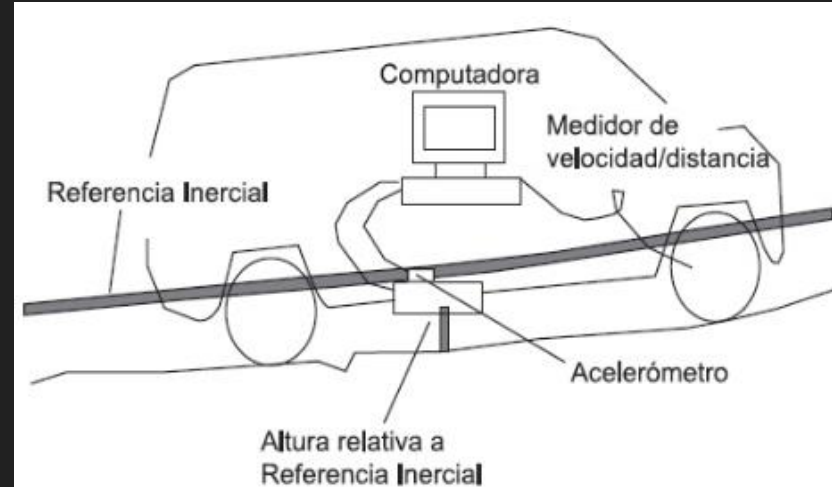
Procuram medir a reação (resposta) do veículo às imperfeições do pavimento, realizando somatórias que contam a variação e o deslocamento relativo entre o eixo e a carroceria do veículo. Esses valores obtidos são então correlacionados com algum dos dois índices de irregularidade.



Equipamentos para medição

Perfilômetros Inerciais:

O veículo contendo o equipamento trafega sobre o pavimento e um computador registra simultaneamente: o deslocamento longitudinal, a altura do veículo até o pavimento e a aceleração vertical do veículo. Assim, o sistema processa os dados convertendo a aceleração vertical em deslocamento vertical do veículo. E através de duas integrações sucessivas, o perfil longitudinal é obtido, calculando-se os índices.



Equipamentos para medição

- medidores do tipo resposta (os mais utilizados)
 - grandes levantamentos



Equipamentos para medição

- medidores do tipo resposta (os mais utilizados)
 - grandes levantamentos
- nível e mira
 - trechos de calibração para medidores do tipo resposta



Equipamentos para medição

- medidores do tipo resposta (os mais utilizados)
 - grandes levantamentos
- nível e mira
 - trechos de calibração para medidores do tipo resposta
- Dipstick
 - piso industrial
 - pavimentos de concreto (pequenas extensões)
 - trechos de calibração para medidores do tipo resposta
 - trechos curtos em pistas de aeroportos



Equipamentos para medição

- medidores do tipo resposta (os mais utilizados)
 - grandes levantamentos
- nível e mira
 - trechos de calibração para medidores do tipo resposta
- Dipstick
 - piso industrial
 - pavimentos de concreto (pequenas extensões)
 - trechos de calibração para medidores do tipo resposta
 - trechos curtos em pistas de aeroportos
- Merlin¹
 - pavimentos em execução ou restauração (pequenas extensões)



1. Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumental

Uso de Smartphones

- **smartphone** (é do tipo resposta)
 - levantamentos em nível de rede



Metodologia*

VA (*vertical acceleration*)

1. **acelerômetros instalados em smartphones**, fixados internamente ao veículo (painel, para-brisas, saída de ventilação) - tipo resposta medem acelerações (*AndroSensor, Accelerometer Analyser, Roadroid*)
1. **juntamente com medidas de GPS** (também instalado em smartphone) **correlacionam acelerações ao IRI**

**será melhor explicado adiante*

Smartphone vs. Demais equipamentos

Smartphone

- baixo custo
- flexibilidade
- alta produtividade

Perfilômetros e ferramentas sofisticadas

- **maior custo** (de aquisição e operação)
- **menor flexibilidade** (exige habilidade dos operadores)
- **menor produtividade**

Smartphone vs. Demais equipamentos

Smartphone

- baixo custo
- flexibilidade
- alta produtividade

*Principais Desafios

- qualidade dos dados?
- forma de medição?

Perfilômetros e ferramentas sofisticadas

- **maior custo** (de aquisição e operação)
- **menor flexibilidade** (exige habilidade dos operadores)
- **menor produtividade**

Fatores que afetam a aceleração medida

- defeitos no pavimento
 - severidade
 - extensão
 - frequência de ocorrência
 - tipo de defeito
- veículo
 - características da suspensão
 - velocidade
- outras irregularidades na superfície

Qualidade dos Dados

1. não medem diretamente o perfil do pavimento (e sim acelerações)
 2. IRI smartphone ~ IRI perfilômetro, por ser do tipo resposta
 3. quanto maior a taxa de aquisição de dados, maior a perda de informações (recomenda-se $< 100\text{Hz}$)
 4. se a taxa de aquisição for lenta, o IRI pode ser subestimado
 5. se ocorrer efeito de *Aliasing*¹, o valor é superestimado
 6. possuem limitações
 - limitações do aparelho (acelerômetros sujeitos a ruídos)
 - processamento de dados
1. Ocorre quando a amostragem de um sinal ocorre em uma frequência menor que a taxa de Nyquist, que é definida como a metade da taxa de amostragem do sinal original. Nesse caso, o sinal convertido para o tempo contínuo apresenta falhas no sinal reconstruído

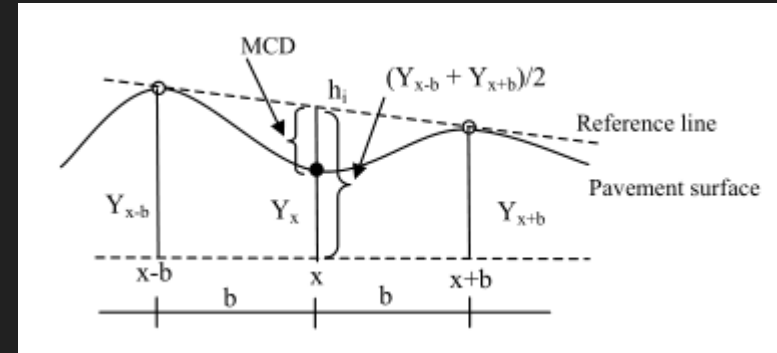
Como melhorar?

- Utilizar modelos de smartphones e aplicativos que permitam a **maior taxa de aquisição de dados possível**, especialmente em pavimentos com grande irregularidade (alta frequência de defeitos)
 - aperfeiçoamento dos sensores
- **Dados precisam ser calibrados** a partir de um método de referência (pois medição depende de veículo, velocidade, modelo do smartphone, aplicativo)
 - uso em larga escala pode contribuir para calibração

Aceleração vertical (VA)

- Medida em acelerômetros embarcados em *smartphones*
- É um sinal no tempo
- Varia fortemente conforme a largura de base considerada (b)
- É possível calcular seu valor RMS (RMSVA) e sua média absoluta (MAVA)

$$VA_i = \left(\frac{Y_{x-b} + Y_{x+b} - 2Y_x}{b^2} \right)$$



Correlação com o IRI

	Flexible Pavement Sections			Concrete Pavement Sections		
	IRI	RMSVA	MAVA	IRI	RMSVA	SV
RMSVA	0.181			0.303		
MAVA	0.123	0.839		0.253	0.848	
SV	0.566	0.723	0.460	0.719	0.753	0.623

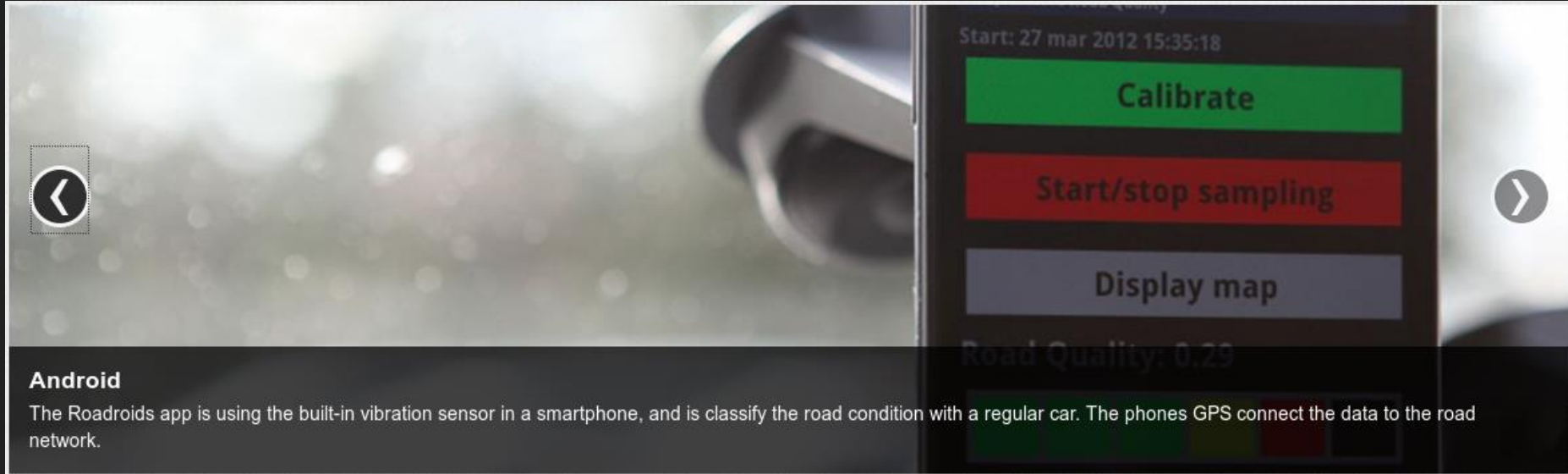
Fonte: WEI, L.; FWA, T. Characterizing road roughness by wavelet transform. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, n. 1869, p. 152–158, 2004

$$\text{IRI} = 0.04 + 0.45\text{RMSVA}_{1.0} - 0.24\text{RMSVA}_{2.5} + 0.53\text{RMSVA}_{3.0} + 1.36\text{RMSVA}_{3.5}$$

$$R^2 = 0.958$$

Fonte: FARIAS, M. M. de; SOUZA, R. O. de. Correlations and analyses of longitudinal roughness indices. Road Materials and Pavement Design, Taylor & Francis, v. 10, n. 2, p. 399–415, 2009

Estado da técnica



Android

The Roadroids app is using the built-in vibration sensor in a smartphone, and is classify the road condition with a regular car. The phones GPS connect the data to the road network.

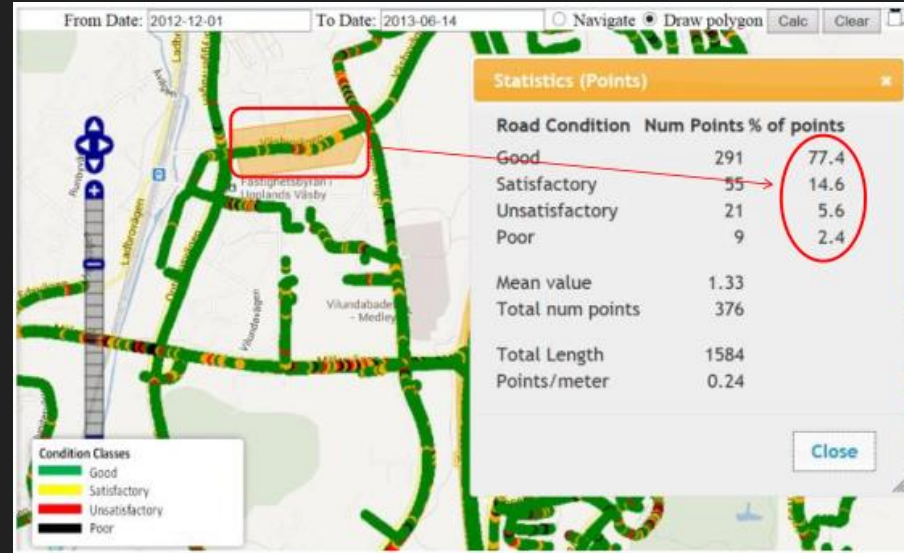
Fonte: FORSLÖF, L. Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smartphones. Ljusdal, jun. 2013.

Roadroid

Funcionamento:

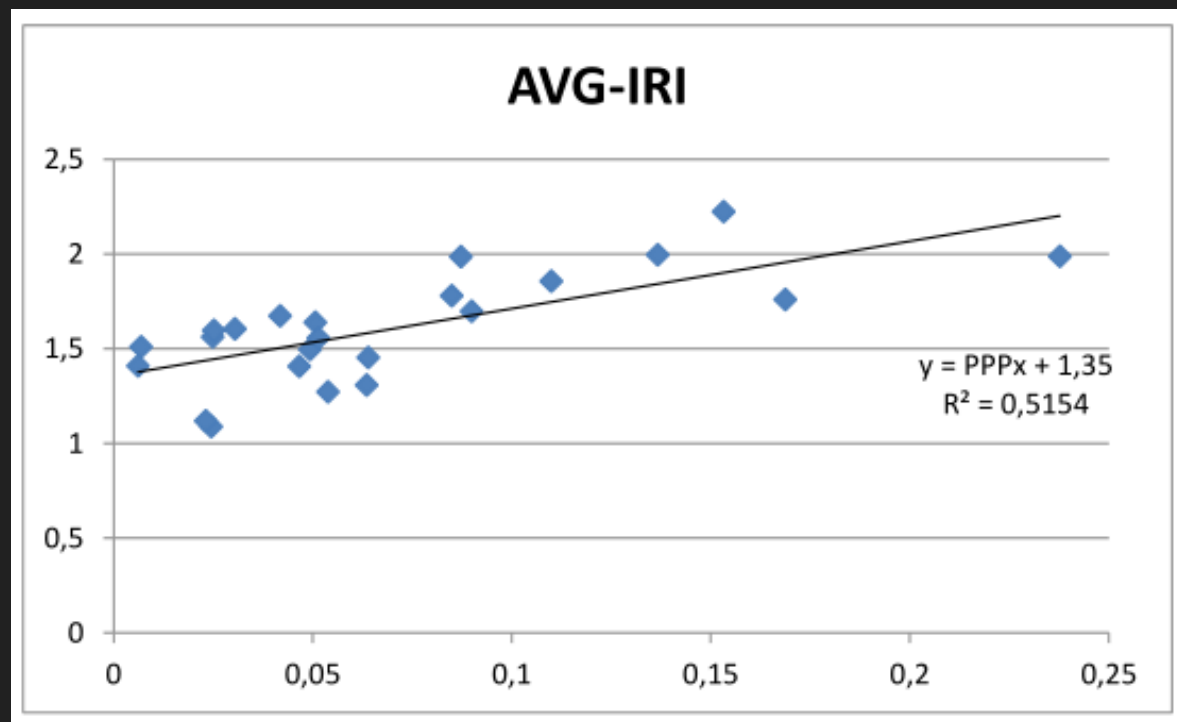
Classificação da serventia em quatro categorias:

Bom, satisfatório, insatisfatório, ruim



Roadroid

Correlação com IRI



Roadroid: exemplos

AYDIN, M. M.; YILDIRIM, M. S.; FORSLÖF, L. The Use of Smart Phones to Estimate Road Roughness: A Case Study in Turkey. In: INTERNATIONAL Conference on Advanced Engineering Technologies (ICADET 2017). bayburt: [s.n.], set. 2017. v. 21. 23 p.

Resultados:

- Avaliação de 3259 km de vias urbanas e rurais
- 84,4 % boas
- 7,9 % satisfatórias
- 3,8 % insatisfatórias
- 4 % necessidade urgente de manutenção

Roadroid: exemplos

OLIVEIRA, F. H. L. de e et al. Estudo da condição da superfície em rodovias do estado do ceará com o uso de smartphone. In: CONGRESSO Ibero-Latinoamericano del Asfalto (CILA). Medellín: [s.n.], 2017. v. 19. 12 p.

Sigla	Extensão Pesquisada (Km)	eIRI Médio	Coefficiente de Variação (%)	Condição da Superfície (DER-CE/DNIT)
QXB-MAD	59,6	2,70	24,88	Bom
CHR-BR020	42,7	3,07	38,14	Regular
CE060-CHR	12,1	3,28	34,34	Regular
AV(CBUQ)	20,1	1,54	38,23	-
QXD-CE060	11	1,70	17,20	Bom
CAN-FOR	114,2	1,78	36,59	Regular a Bom
CHZ-ITA	50,5	1,84	30,76	Regular a Bom
PIR-CHZ	46,2	2,34	64,89	Regular a Bom
QXD-PIR	45,1	3,40	80,73	Regular
AV(RÍG)	5,9	1,45	13,36	-
DIOG	5,5	2,47	19,98	-
TEOTONIO	1,8	6,03	39,42	-

Estado da técnica

BISCONSINI, D. R. et al. Pavement Roughness Evaluation with Smartphones. International Journal of Science and Engineering Investigations, v. 7, n. 72, p. 43–52, jan.2018.

Segment	Speed (km/h)	RMSVA (m/s ²)	σ	CV (%)
Airport	20	0.37	0.02	4.56
	40	0.59	0.03	4.6
	60	0.78	0.04	5.3
Embrapa	20	0.77	0.03	3.41
	40	1.12	0.04	3.56
	60	1.2	0.05	4.19
MGS Road	20	1.35	0.06	4.38
	40	2.78	0.14	5.23
	60	4.75	0.27	5.68

Segment	Speed (km/h)	Correlation between RMSVA and IRI (r)
Airport	20	-0.05
	40	-0.08
	60	0.30
Embrapa	20	0.60
	40	0.81
	60	0.76
MGS Road	20	0.95
	40	0.96
	60	0.96

Bibliografia

- https://en.wikipedia.org/wiki/AASHO_Road_Test
- http://www.anpet.org.br/ssat/interface/content/autor/trabalhos/publicacao/2013/33_AC.pdf
- <http://sites.poli.usp.br/ptr/lmp/download/Perfil%C3%B4metro%20e%20Irregularidade%202005.pdf>
- 803-Noticias_da_construcao_sinduscon_dezembro_de_2012.pdf
- Shahin, Mohamed Y. Pavement management for airports, roads, and parking lots. 1994.
- <http://novo.arteris.com.br/wp-content/uploads/2016/10/ME-Medic%C3%A7%C3%A3o-da-Irregularidade-Longitudinal-de-Pavimentos-com-Equipamento-MERLIN-.pdf>
- FORSLÖF, L. Roadroid: Continuous Road Condition Monitoring with Smartphones. Ljusdal, jun. 2013.
- FARIAS, M. M. de; SOUZA, R. O. de. Correlations and analyses of longitudinal roughness indices. Road Materials and Pavement Design, Taylor & Francis, v. 10, n. 2, p. 399–415, 2009
- Fonte: WEI, L.; FWA, T. Characterizing road roughness by wavelet transform. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Transportation Research Board of the National Academies, n. 1869, p. 152–158, 2004