

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE DEFEITOS ESTRUTURAIS E FUNCIONAIS EM RODOVIAS BRASILEIRAS EM REVESTIMENTOS DE CAUQ

Renata de Souza Sales
Lucas Moreira Magalhães
Gabriel Amorim Rabelo Nobre
Universidade Federal do Ceará
Departamento de Engenharia de Transportes

RESUMO

Modelos que visam prever as condições de um pavimento são de grande importância em um Sistema de Gerência de Pavimentos, pois viabilizam a obtenção de informações quanto a defeitos de superfície quando há dificuldade ou a impossibilidade de medi-las em campo. A tomada de decisão para manutenção e reabilitação de um pavimento pode ser feita através da análise de parâmetros funcionais e estruturais dos trechos das rodovias analisadas, tais como o Índice de Gravidade Global (IGG) e a Deflexão Característica (Dc). Dessa forma, este trabalho mostra um estudo da correlação dos índices estruturais e funcionais mais aplicados em rodovias federais brasileiras que possuem revestimento em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), a partir de relatórios do Contrato de Restauração e Manutenção (CREMA), onde foi possível chegar a um modelo de previsão da deflexão característica de um pavimento através do IGG.

ABSTRACT

Models that aim to predict the conditions of a pavement are of a great importance in a Pavement Management System, since they make it possible to obtain information about pavement defects when there is difficulty or the impossibility of measuring them. The decision making for maintenance and rehabilitation of a pavement can be made through the analysis of functional and structural defects of the roads analysed, such as the Global Severity Index and the Characteristic Deflection (Dc). Thus, this work shows a study of the correlation of structural defects with functional defects in Brazilian highways that have a coating on Heat Machining Asphalt Concrete where it was possible to arrive at a prediction model of the characteristic deflection of a pavement through the IGG.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o modo rodoviário é predominante na movimentação de cargas e passageiros. Segundo dados da CNT (2018), houve crescimento de 14,8% da frota de caminhões e 28,98% na frota total de veículos no Brasil entre os anos de 2012 e 2018. Com o progressivo aumento da solicitação de carga ao do pavimento, a necessidade de manutenção é de grande importância, tanto para preservação do capital governamental investido na infraestrutura, quanto para manutenção da qualidade do conforto e da segurança para os usuários.

Segundo Soncim e Fernandes Junior (2015), modelos para a previsão da condição de um pavimento são essenciais a um Sistema de Gerência de Pavimentos (SGP), os quais são utilizados em nível de rede, no planejamento, na avaliação de ações de manutenção e reabilitação, na priorização de projetos e plano de custos, como também em nível de projeto, na escolha de atividades de manutenção e de reabilitação.

No que diz respeito ao conhecimento da infraestrutura para subsidiar as atividades de manutenção e reabilitação no aspecto estrutural, Borges (2001) realizou um estudo comparativo entre dados obtidos de deflexão entre duas formas distintas de levantamento de deflexões, sendo elas a Viga Benkelman e deflectômetro de impacto (*Falling Weight Deflectometer* - FWD). Lin, Hsiao e Yau (2003) correlacionaram defeitos de pavimentos ao Índice de Gravidade Global (IGG) utilizando redes neurais, a partir de imagens de vídeo com identificação dos defeitos de superfície, previu-se satisfatoriamente valores de IGG do pavimento analisado. No entanto, até onde seja de conhecimento dos autores deste artigo, não foram encontradas pesquisas que busquem correlacionar parâmetros estruturais com parâmetros funcionais de pavimentos, de

forma a justificar o primeiro pela variação do segundo, para a realidade da infraestrutura rodoviária brasileira.

Tendo em vista os benefícios na comparação de resultados de parâmetros funcionais e estruturais de pavimentos para obtenção de modelos ou de novos dados, a correlação entre dados mostra-se uma alternativa promissora para o desenvolvimento de métodos de avaliação efetivos.

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo a criação de um modelo para a previsão de deflexões características em pavimentos flexíveis em uma malha rodoviária brasileira em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), tomando como base a variação do IGG.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Avaliação Estrutural de pavimentos

O FWD é um equipamento para medidas de deflexões por impacto, em geral no formato de um trailer, ilustrado na Figura 1, rebocado por um veículo, que libera pesos de massa conhecida a altura pré-estabelecida sobre uma placa de carga, a fim de simular o carregamento e o tempo de aplicação da carga de um pneu de um veículo em movimento (FHWA, 2017). Esse equipamento tem seu uso para levantamento especificado por DNER (1996), e sua calibração por DNIT (2010).



Figura 1: FWD modelo Dynatest® (FHWA, 2017)

Segundo Bernucci *et al.* (2010), a partir dos dados detectados pelos sensores de deflexão e geofones do equipamento, distribuídos longitudinalmente a partir do centro da placa, pode-se descrever uma bacia de deflexões e o raio de curvatura da bacia deformada do pavimento, respectivamente. As distâncias de geofones ao centro da placa de carga tem como finalidade refletir o comportamento da deformabilidade das camadas constituintes do pavimento e assim representam a bacia de deflexão (DYNATEST, 2019). Na Figura 2 é ilustrado o ensaio do deflectômetro e o resultado de deflexão para diversos sensores.

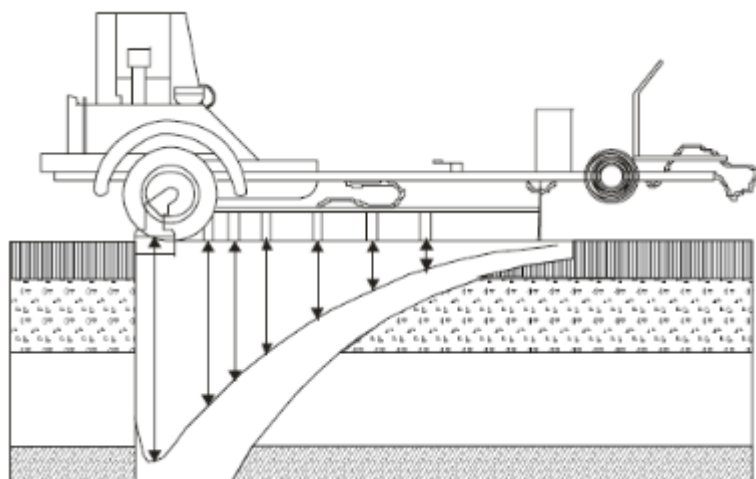


Figura 2: Esquemática de um deflectômetro de impacto (DNIT, 2006).

As respostas de deflexão obtidas pela aplicação de carga no pavimento, variam por camada do pavimento, a depender do módulo de elasticidade dessa camada, onde o formato da bacia deformada caracteriza a resistência do pavimento; uma maior uniformidade da bacia indica uma maior resistência da estrutura (COSTA; PEREIRA; DEON, 2017). Dessa forma, o desempenho do pavimento analisado pode ser atribuído ao resultado de deflexão, quanto maior sua deflexão, menor seu desempenho (DNIT, 2006).

Segundo Benevides (2019), no projeto de manutenção e reabilitação de um pavimento, é possível utilizar como parâmetro da avaliação estrutural e funcional dados de deflexão de projeto e IGG, respectivamente. A partir de critérios descritos pela Tabela 1, por exemplo, é estabelecido qual tomada de decisão aplicada pelo órgão gestor responsável pela malha viária, desde o “não fazer nada” até a reconstrução do pavimento em condições funcionais e estruturais extremas.

Tabela 1: Tomada de decisão na avaliação estrutural (Benevides, 2019)

IGG	Dp	Ação
<180	<Dadm	Nenhuma
<180	> Dadm e < 3Dadm	Reforço
<180	>3Dadm	Reconstrução
>180	-	Reconstrução

2.2. Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis

No Brasil, utiliza-se o Índice de Gravidade Global (IGG) como meio de avaliação objetiva de pavimentos flexíveis e semirrígidos, cujo procedimento é especificado pela DNIT (2003a). O levantamento dos defeitos é realizado através de uma equipe que demarca as superfícies de avaliação e realiza um inventário de ocorrência de defeitos e medida das flechas de trilha de roda interna e externa. Através desse levantamento é aplicado o método da DNIT (2003a) que tem como resultado um valor numérico para o IGG, de acordo com o valor é estabelecida a classificação funcional do pavimento segundo a Tabela 2.

Tabela 2: Conceito de degradação do pavimento (DNIT, 2003a)

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Vieira *et al.* (2016) ao confrontar o método do IGG com o método do *Pavement Condition Index* (PCI) concluiu que o segundo apresenta uma melhor composição para a avaliação objetiva da superfície do pavimento, devido a abordagem e ao detalhamento exigidos em seus cálculos, tornando seus resultados mais precisos que os do IGG. No entanto, na prática, o levantamento realizado pelo método do IGG é de simples execução comparado ao PCI, fazendo com que o IGG seja ainda muito utilizado no Brasil.

2.3. Programa CREMA - Contrato de Restauração e Manutenção

Dificuldades em gerenciar contratos a preços unitários atreladas à falta de equipe, propiciou o início de um estudo pelo DNER em 1996 a fim de melhorar a contratação e melhorar o Sistema de Gerência de Pavimentos. Dessa forma criou-se, um programa intitulado CREMA, em 1999, que consiste em atividades de recuperação e manutenção através de contratos de gestão por 07 anos contínuos (DNIT, 2005, 2012).

As atividades a serem desenvolvidas pelo programa são levantamentos de dados históricos do pavimento, cadastro geral da rodovia, inventário da superfície, levantamento do tráfego, deflexão, *International Roughness Index* (IRI), sondagens e ensaios (DNIT, 2005).

Figueredo (2015) avaliou o desempenho do CREMA no estado de Pernambuco e concluiu que o programa, quando comparado aos contratos tradicionais, destaca-se pelo fato de possuir remuneração baseada no cumprimento de metas pelas empreiteiras, que são previamente acordadas, em contraponto ao método tradicional dos contratos, que ocorre por avaliação de insumos. Destaca-se também o fato da responsabilidade pelo projeto e execução das obras ser totalmente transferido à empresa contratante. Figueredo (2015) constatou que essas vantagens apresentaram resultados positivos no estado de Pernambuco, tanto na qualidade do pavimento quanto na redução da burocracia que existia no processo licitatório antigo.

3. MÉTODOS DE PESQUISA

3.1 Relatórios CREMA

Para essa análise foram utilizados os relatórios do CREMA, cedidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), que contemplam informações acerca de levantamentos de dados funcionais e estruturais em rodovias brasileiras. Para essa análise utilizaram-se os trechos das rodovias cujos revestimentos são constituídos de Concreto Asfáltico Usinado à Quente (CAUQ). Os dados utilizados na análise são resumidos na Tabela 3.

Tabela 3: Dados utilizados na análise

Rodovia	Trecho	Extensão analisada (km)
BR-101	BA-L21	5,88
BR-135	BA-L12	42,54
BR-158	MS-L9	35,60
BR-230	CE	42,13
BR-230	PI-L2	52,50
BR-262	MS-L11	83,62
BR-343	PI-L8	32,00
BR-364	MT-L3	138,01
BR-386	RS-L41	55,39
BR-405	PB-L2	0,48
BR-463	MS-L10	116,15
BR-470	RS-L1	75,61
Total		679,91

Essas informações foram organizadas em planilhas, a fim de tornar viável sua tabulação e análise. Sua categorização foi dividida em: denominação da rodovia, segmentos observados, comprimento do segmento, levantamento de dados funcionais de acordo com a DNIT (2003a) e DNIT (2003b) e dados estruturais de acordo com a DNER (1979).

3.2. Análise estatísticas de dados e definição do modelo de comportamento

A análise dos dados iniciou-se com a investigação da correlação entre IGG e deflexão característica (D_c), visto que a literatura mostra que é possível realizar a tomada de decisão quanto a manutenção e restauração de rodovias através da classificação do IGG e do valor de D_c . Dessa forma, buscou-se um modelo que previsse os defeitos estruturais e deflexão característica por meio de defeitos funcionais e IGG.

A fim de aumentar a acurácia do modelo foi realizada a retirada de outliers, que nesse caso são erros de medições ou valores muito destoantes da realidade do fenômeno analisado que podem ter sido causados por erros do operador na obtenção dos dados em levantamentos in situ ou erros de leitura dos equipamentos utilizados nos levantamentos. Em seguida foi realizado, novamente, o teste de correlação.

O modelo estatístico escolhido foi aquele que melhor explicou as variações de deflexão, ou seja, aquele que apresentou maiores valores de correlação. Uma forte correlação prova que as variáveis possuem correspondência. Também foram utilizados como parâmetros de decisão o coeficiente de determinação R^2 , que demonstra o quanto o modelo escolhido explica bem o fenômeno observado e valor-P, o menor nível de significância para o qual se rejeita a hipótese nula de que o IGG não explica as deflexões características.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

Após a tabulação dos dados, deu-se início ao processo estatístico para a formação da equação explicativa da deflexão característica. Como se tratam de duas variáveis, IGG e deflexão característica, optou-se por uma regressão simples. Então, realizou-se a análise sem tratamento dos dados, utilizando as 299 observações de levantamento disponíveis, obtendo valores de correlação e R^2 relativamente baixos, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados da primeira análise estatística

R-Quadrado	0,3148
Correlação	0,5611
Observações	299

Com um tratamento posterior dos dados, removendo aqueles que foram considerados inconsistentes para o tipo de levantamento, como valores de IGG baixos associados a deflexão característica com valores elevados, ou o contrário. Após esse procedimento, restaram 196 observações consideradas coerentes, as quais foram submetidas a uma nova análise estatística, e seus resultados indicaram uma melhora significativa no valor da correlação entre as variáveis em estudo, como mostra a Tabela 5.

Tabela 5: Resultados da segunda análise estatística

R-Quadrado	0,7025
Correlação	0,8381
Observações	196

Em seguida, obteve-se, através de um teste estatístico, os coeficientes da equação do modelo proposto e os parâmetros de avaliação desse modelo, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Modelo e parâmetros de avaliação

	Coefficientes	Valor-P	Inferior 99,0%	Superior 99,0%
Interseção	33,0109	$8,0789 \times 10^{-99}$	30,95229888	35,06950197
IGG	0,1657802	$5,8311 \times 10^{-53}$	0,145629416	0,185931027

Através do modelo proposto, pode-se observar que a deflexão característica é bem explicada pelos valores de IGG, visto que foi obtido uma correlação de 83,8% e R^2 de 70,3%, valores considerados estatisticamente significantes. Além disso, percebe-se que a deflexão característica é bem descrita pelo IGG, visto que o valor-P para o IGG é menor que 0,05, indicando uma confiança maior que 95% de que uma variável explicativa descreve bem uma variável explicada.

Após a análise estatística com os dados considerados coerentes para o estudo em pauta, obteve-se a Equação 1 explicativa do fenômeno:

$$Dc = 33,01 + IGG \times 0,165 \quad (1)$$

em que Dc : deflexão característica [10^{-2} mm];

IGG : índice de gravidade global.

Por fim, através da Figura 3 pode ser observada a dispersão dos valores de deflexões características reais e previstas. Vale ressaltar que este modelo, devido ao seu valor de intercepto, tem como limitação uma deficiência em representar valores de deflexão característica com valores abaixo de $33,01 \times 10^{-2}$ mm, com os valores previstos superestimando todos os valores reais nessa faixa de deflexões características, que podem ser observados na Figura 4. Contudo, para faixas acima desse valor, o modelo é capaz de prever as deflexões características em pavimentos cujos revestimentos são compostos de CAUQ.

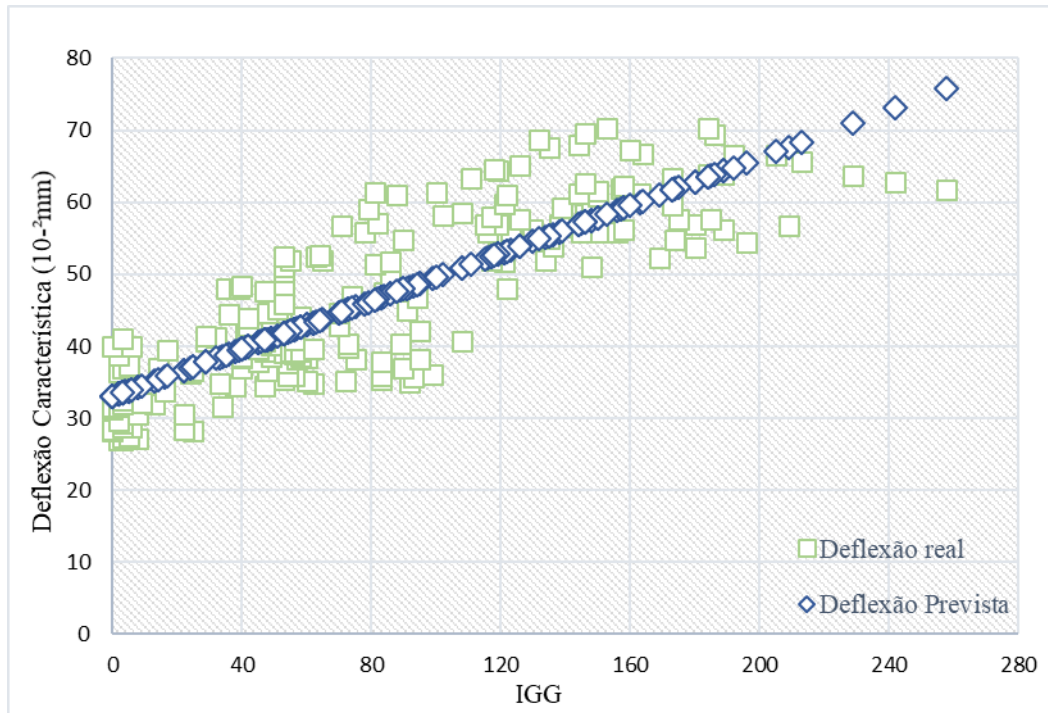


Figura 3: Deflexão característica real e deflexão prevista x IGG para faixas de Deflexão característica real maiores que $33,01 \times 10^{-2}$ mm

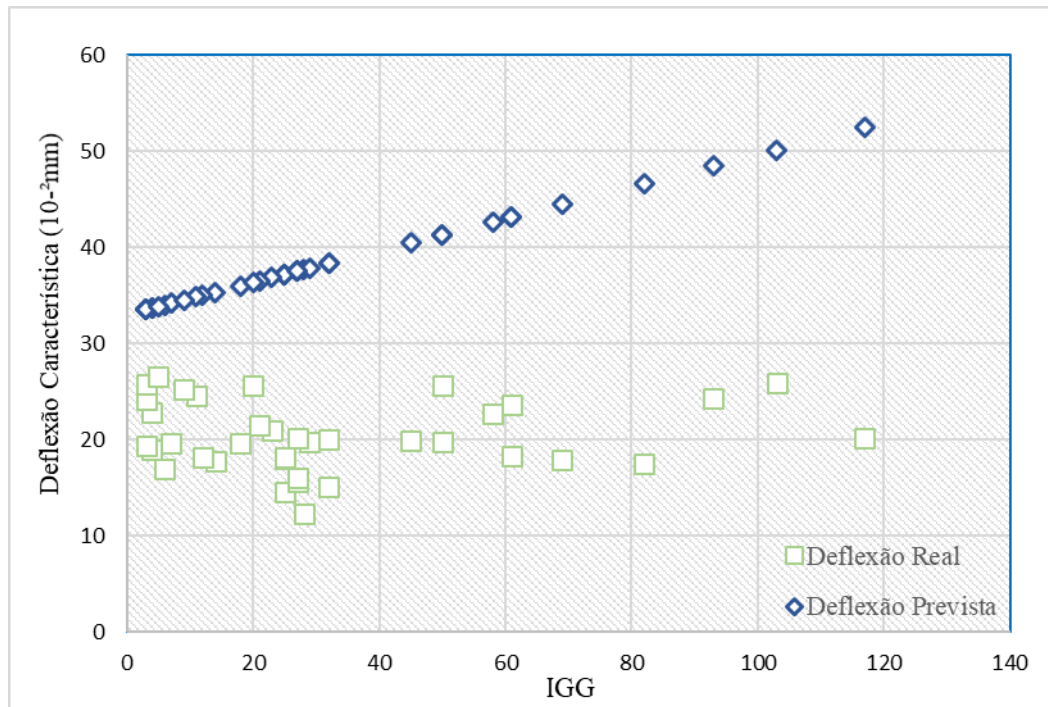


Figura 4: Deflexão característica real e deflexão prevista x IGG para faixas de Deflexão característica real menores que $33,01 \times 10^{-2}$ mm

5. CONCLUSÃO

Após a análise estatística do fenômeno em estudo, pode-se concluir que o modelo de previsão de deflexão característica por meio do IGG descreve satisfatoriamente a realidade para pavimentos flexíveis rodoviários cujos revestimentos são compostos de CAUQ, o que pode ser percebido pelos resultados positivos dos indicadores de correlação e confirmado aos trechos em estudo. No entanto, o modelo construído possui limitações quando aplicado a pavimentos que possuem deflexões características menores que $33,01 \times 10^{-2}$ mm, não representando adequadamente a realidade estrutural do pavimento para essa faixa de deflexões, podendo subestimar o pavimento e propor a esse uma intervenção indevida.

Conclui-se, dessa maneira, que o modelo de previsão pode contribuir à gerência de pavimentos como uma ferramenta a ser utilizada na ausência de dados de deflexão característica nas avaliações estruturais de pavimentos, mas na existência de dados funcionais de defeitos, que indiquem ou possibilitem o cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG).

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Francisco Heber Lacerda de Oliveira, da Universidade Federal do Ceará, por ceder seu tempo e dedicação para aprimorar o texto e eliminar qualquer erro e inconsistência presente nesse.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benevides, S. A. S. (2019) *Projeto de Reforço*. Notas de Aula de Gestão de Pavimentos, Fortaleza.
- Bernucci, L. L. B. et al. (2010) *Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros*. Rio de Janeiro.
- Borges, C. B. S. (2001) *Estudo Comparativo entre Medidas de Deflexão com Viga Benkelman e FWD em Pavimentos da Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CNT (2018) *Pesquisa Rodoviária – Relatório Gerencial*. Brasília: Confederação Nacional do Transporte. Disponível em: www.cnt.gov.br. Acesso em: 29 mai. 2019
- Costa, T. C.; D. A. Pereira e K. C. A. Deon (2017) *Retroanálise das Bacias Deflectométricas Para Obtenção dos Módulos de Resiliência das Camadas de Pavimentação da Rodovia BR-163/PA Brasil*. Proceedings CLME2017/VCEM, Maputo. 8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, Maputo.
- DNER (1979) *Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis*. DNER-PRO 011/79. Rio de Janeiro, IPR, 16 p.
- DNER (1996) *Determinação de Deflexões Utilizando Deflectômetro de Impacto Tipo "Falling Weight Deflectometer (FWD)"*. DNER-PRO 273/96. Rio de Janeiro, IPR, 1996. 4 p.
- DNIT (2012) *Audiência Pública: Minas Gerais: Dnit*.
- DNIT (2005) *Instrução de Serviço DG/DNIT N° 05 de 09 de Dezembro de 2005*. Disponível em: http://www.dnit.gov.br/instrucoes-normativas/instrucoes-de-servicos/instrucoes-de-servico-por-ano/2005/is_dg-nb0-05-de-09-de-dezembr-o-de-2005.pdf. Acesso em: 30 maio 2019.
- DNIT (2005) *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro.
- DNIT (2003a) *Procedimento 006/2003 - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos*. Rio de Janeiro: IPR.
- DNIT (2010) *Procedimento 132/2010 - Pavimentos - Calibração de Célula de Carga e Sensores de Deflexão dos Deflectômetros do Tipo "Falling Weight Deflectometer (FWD)"*. Rio de Janeiro: IPR.
- DNIT (2003b) *Terminologia 005/2003 - Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos*. Rio de Janeiro: IPR.
- Dynatest® (2019) *FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER (FWD)*. [S. l.]. Disponível em: <http://dynatest.com.br/falling-weight-deflectometer-fwd/>. Acesso em: 30 maio 2019.
- Figueredo, A. A. P. (2015) *Avaliação do Desempenho dos Contratos de Manutenção nas Rodovias Sob Gestão do DNIT em Pernambuco*. Pernambuco.
- FHWA (2017) *Using Falling Weight Deflectometer Data with Mechanistic-Empirical Design and Analysis, Volume I: Final Report*. Federal Highway Administration, U.S Department of Transportation.

- Lin, J. D.; L.H. Hsiao e J. T. Yau (2003) *Correlation Analysis Between International Roughness Index (IRI) and Pavement Distress by Neural Network*. 82th Annual Meeting, Washington, D.C.
- Soncim, S. P.; J. L. Fernandes Júnior (2015) *Modelo de previsão do índice de condição dos pavimentos flexíveis*. Journal of Transport Literature, v. 9, n. 3, p. 25-29.
- Vieira, S. A. *et al* (2016) *Análise Comparativa de Metodologia de Avaliação de Pavimentos Através do IGG e PCI*. Conexões-Ciência e Tecnologia, v. 10, n. 3, p. 20-30.

Renata de Souza Sales (renatasales@alu.ufc.br)
Lucas Moreira Magalhães (lucasmoreiramagal@gmail.com)
Gabriel Amorim Rabelo Nobre (gabrielamorim25@gmail.com)
Departamento de Engenharia de Transportes - DET, Centro de Tecnologia - Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici - Bloco 703 - 60440-900 - Fortaleza CE