

ESTUDO DAS AVALIAÇÕES ESTRUTURAL E FUNCIONAL EM TRECHO EXPERIMENTAL COM CINZAS VOLANTES

José Wémenson Rabelo Chaves

Cisne Faculdade de Quixadá

Lucas Cavalcante de Almeida

Centro Universitário Christus - Unichristus

Francisco Heber Lacerda de Oliveira

Universidade Federal do Ceará

RESUMO

O conhecimento do estado geral dos pavimentos permite intervenções nas suas estruturas objetivando o garantir o seu ciclo de vida. Este trabalho tem o objetivo de analisar o desempenho estrutural e funcional em um trecho experimental com adição de cinzas volantes nas subcamadas do pavimento. A avaliação estrutural ocorreu por meio do equipamento *Falling Weight Deflectometer* – FWD e a avaliação funcional foi por meio de um aplicativo para *smartphone* denominado *SmartIRI* responsável por estimar o Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index* – IRI). Os resultados mostraram altos valores de deflexão e valores aceitáveis de irregularidade longitudinal em grande parte do trecho, portanto, não foi possível associar diretamente essas características obtidas ao uso de cinzas volantes devido ao curto intervalo de tempo entre a execução do revestimento asfáltico e a coleta de dados, embora, em um segmento do trecho analisado na qual apresentou redução na capacidade de suporte, foram obtidos elevados valores de irregularidade longitudinal.

ABSTRACT

The knowledge of the general condition of the pavements allows interventions in their structures aiming at increasing their life cycle. This paper aims to analyze the structural and functional performance in an experimental stretch with the addition of coal ashes in its granular layers. The structural evaluation was through using the *Falling Weight Deflectometer* - FWD equipment and the functional evaluation was through a *smartphone* application denominated *SmartIRI* responsible for estimating the *International Roughness Index* - IRI. The results showed high deflection values and acceptable values of longitudinal roughness over a large part of the stretch, therefore, it was not possible to directly associate these characteristics obtained with the use of fly ash due to the short time between the execution of the asphalt coating and the collection of data, although, in a segment of the analyzed section in which it presented a reduction in the carrying capacity, high values of longitudinal roughness were obtained.

1. INTRODUÇÃO

Para que as rodovias durante sua vida útil garantam conforto e segurança ao transporte de cargas e de pessoas, é necessário que sejam empregadas técnicas adequadas de avaliação. Essas avaliações devem estar associadas às condições de serventia do pavimento e a problemas superficiais, além de estimar a resistência e deformabilidade das suas camadas constituintes, relacionando a capacidade do pavimento às ações do tráfego e do clima.

A informação sobre o estado funcional e estrutural dos pavimentos permite orientar as estratégias de manutenção e reabilitação e a garantia de sua vida útil, reduzindo os custos de conservação. Essas avaliações são essenciais para determinar como o pavimento evoluiu ao longo do tempo, se nenhuma intervenção for executada, bem como permitir a implementação de diversas alternativas de intervenção (SANTOS, 2011).

A ocorrência de defeitos, como trincas e desgastes na superfície de um pavimento é um indicativo de ineficiência funcional ou estrutural. Desse modo, os pavimentos precisam ser acompanhados, a fim de obter informações que serão utilizadas nos Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP), orientando as intervenções da rodovia, além de fornecer subsídio para implantação de novas tecnologias de projeto, construção e manutenção (HAAS *et al.*, 1994).

Diante do exposto, este trabalho tem o objetivo de analisar o desempenho estrutural e funcional em um trecho experimental executado com adição de cinzas volantes em suas subcamadas. A avaliação estrutural foi analisada por meio de deflexões de projeto no pavimento e a avaliação funcional foi avaliada por meio do Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index – IRI*).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Bernucci *et al.* (2010), a avaliação estrutural está ligada a capacidade de suporte do pavimento, abrangendo as características de resistência e deformabilidade das camadas do pavimento sob a ação das cargas atuantes, ocasionando deflexões elásticas ou plásticas. As deformações plásticas são consideradas cumulativas durante a vida do pavimento, resultando, assim, em afundamentos localizado ou trilhas de rodas, sendo medida por meio de uma treliça metálica padronizada. Por sua vez, as deformações elásticas, são avaliadas pelas deformações verticais (deflexão do pavimento), medidas por reflectômetros.

De acordo com o DNER (1979), os procedimentos para avaliação estrutural em um pavimento flexível visam apontar as causas de sua deficiência e fornecer os elementos para cálculo da vida útil restante da estrutura. Sendo um desses procedimentos a estimativa da deformabilidade, pois existe uma relação entre a grandeza das deflexões recuperáveis e o desempenho dos pavimentos. Considerando-se um pavimento satisfatoriamente projetado e construído, a evolução do seu nível de deflexão em exposição as cargas e as intempéries, compreende em três fases distintas: consolidação, elástica e fadiga.

A fase de consolidação sucede imediatamente à construção do pavimento e é caracterizada pelo decréscimo desacelerado do valor de deflexão, devido à consolidação proporcionada pelo tráfego sobre as camadas. A fase elástica transcorre após a consolidação, definindo a vida útil do pavimento, propendendo a se alongar na medida da diferença verificada entre a deflexão admissível e a deflexão suportada pelo pavimento. A última fase, a de fadiga, acontece após a elástica, caracterizando-se por um crescimento acelerado no nível de deflexão do pavimento, em razão do efeito da fadiga, apresentando fissuras, trincas e acúmulos de deformações permanentes sob as cargas repetidas (DNER, 1979).

Conforme Punthutaecha *et al.* (2009), um dos métodos mais confiáveis para determinação da condição estrutural de um pavimento em serviço, é por meio de ensaio não-destrutivo, o qual não danifica o pavimento durante a sua execução. De acordo com Balbo (2007), os métodos não destrutivos de avaliação estrutural consistem em tomadas de medidas de deflexões, em múltiplos pontos, impostas por carregamentos conhecidos. Sendo os dois equipamentos mais utilizados para esta finalidade no Brasil a *Viga Benkelman*, que impõe um carregamento quase estático, e o *Falling Weight Deflectometer* (FWD) ou *Heavy Weight Deflectometer*, que aplica um carregamento por impacto (Figura 1).

Esses levantamentos permitem a obtenção de leituras dos deslocamentos com a aplicação de cargas espaçadas a partir dos pontos de carregamentos gerando as bacias de deflexão. Portanto, esses procedimentos, permitem conhecer as deflexões da estrutura (MARTINS *et al.*, 2018).

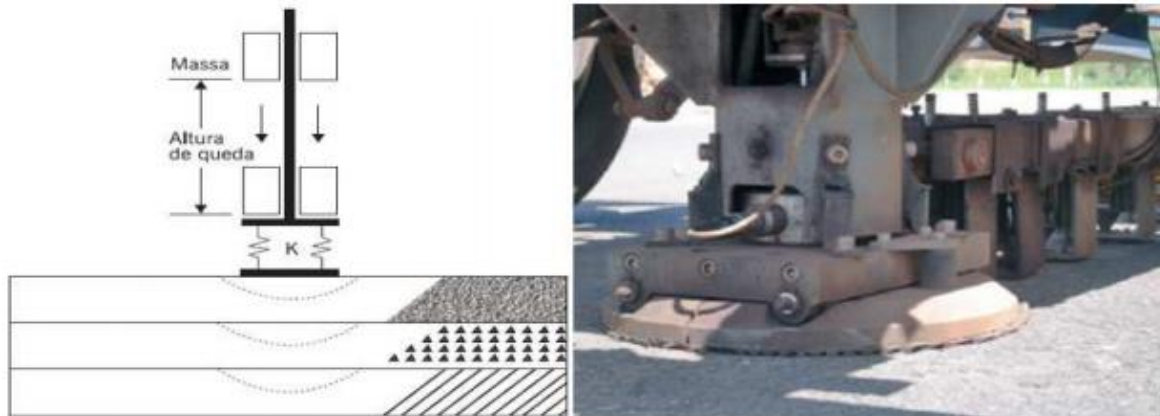


Figura 1: Funcionamento de leitura do FWD e aplicação em campo (Bernucci *et al.*, 2010).

Para a avaliação funcional o objetivo é avaliar a condição da superfície do pavimento, ou seja, o conforto que este proporciona ao usuário em termos de qualidade de rolamento (DNIT, 2003). Conforme Medina e Motta (2005), pode-se associar a avaliação funcional a aspectos de segurança, interação pneu-pavimento, defeitos e irregularidades superficiais. Sendo estes fatores obtidos por meio de diversos indicadores, tais como o Índice de Gravidade Global (IGG) e o Índice de Irregularidade Internacional (*International Roughness Index* - IRI).

Conforme a ASTM (2004), a irregularidade de um pavimento pode ser definida como os desvios de uma superfície, em relação a uma superfície plana de referência, com características dimensionais que afetam a dinâmica dos veículos, a qualidade de rolamento, as cargas dinâmicas e a drenagem. O excesso destes desvios, além aumentar o desconforto do usuário, aumenta a ação das cargas transportadas por veículos pesados, acelerando o processo de deterioração da estrutura (DNIT, 2006).

Para quantificar a irregularidade longitudinal, utiliza-se comumente o índice estatístico denominado de IRI, expresso em m/km ou mm/m (BERNUCCI *et al.*, 2010). De uma forma geral, a irregularidade pode ser considerada como um parâmetro inversamente proporcional à funcionalidade de um pavimento, pois, quanto maior a irregularidade, menor a velocidade praticada na via, menor a sensação de segurança do usuário e menor a economia com combustível e desgaste do veículo (BARELLA *et al.*, 2005).

Para Sayers *et al.* (1986), os medidores utilizados para estimar a irregularidade longitudinal, podem ser divididos em quatro classes, possuindo como base a capacidade de medir direta ou indiretamente as irregularidades em um certo intervalo amostral. Conforme Almeida *et al.* (2018), a utilização de *smartphone* vem surgindo como uma alternativa para avaliação funcional de pavimento, especificamente como medidor da irregularidade longitudinal.

Estudos recentes sobre o assunto indicam que o desafio na obtenção dos índices de irregularidade por aplicativos é a variação da velocidade do veículo, pois a frequência dos desvios verticais muda conforme a velocidade, bem como os valores de picos das acelerações (SAUERWEIN e SMITH, 2011). Além disso, ruídos gerados pelo motor, troca de marchas, frenagens, curvas horizontais e falhas na fixação do equipamento podem interferir nas leituras dos dados obtidos (BISCONSINI *et al.*, 2016).

3. MÉTODO DE PESQUISA

O trecho experimental no qual aplicou-se esta pesquisa está situado na cidade de São Gonçalo do Amarante, estado do Ceará, construído entre os anos de 2018 e 2019. O trecho possui uma extensão de 1,1 km, com uma pista de rolamento, quatro faixas de tráfego (duas por sentido), sem acostamento e revestimento em Concreto Asfáltico, dispondo nas camadas de base e de sub-base a adição de cinzas de carvão mineral provenientes da Usina Termelétrica do Pecém (UTP). As cinzas são geradas durante o processo de queima do carvão mineral para geração da energia térmica que ao final do processo é convertida em energia elétrica.

O monitoramento do pavimento ocorreu por meio de análise estrutural e funcional na faixa externa de cada pista, totalizando dois trechos, iniciado na rotatória de acesso à portaria da UTP e finalizado na Rodovia Estadual CE- 085 - Sentido 1 - e no sentido contrário - Sentido 2 -, como mostra a Figura 2. A avaliação estrutural ocorreu por meio do equipamento *Falling Weight Deflectometer* - FWD, objetivando conhecer a deformabilidade e a capacidade estrutural do pavimento. Por sua vez, a avaliação funcional foi realizada por meio de um aplicativo para *smartphone* denominado *SmartIRI* para a obtenção do IRI.



Figura 2: Faixas de tráfego e vista aérea do trecho em estudo (Google Earth, 2020)

3.1. Aplicação de cinzas de carvão no trecho experimental

O trecho em estudo foi construído com uma mistura de 50% de cinza com 50% de solo na camada de sub-base. A base, por sua vez, foi construída com uma mistura de cinzas volantes e cal estabilizada, variando o percentual de cal, de 95% a 98,4 % (Tabela 1). A Figura 3 ilustra a estrutura do pavimento estudado.

Tabela 1: Informações sobre o teor de cal na camada de base

Trecho	Cinzas (%)	Cal (%)
1	98,4	1,6
2	95,0	5,0
3	97,0	3,0
4	95,0	5,0

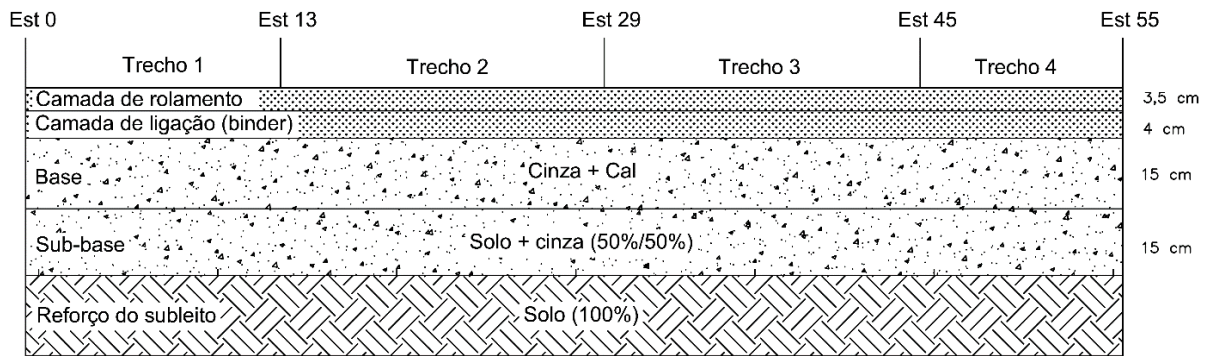


Figura 3: Estrutura do pavimento experimental com adição de cinzas volantes

Os teores de 3% e 5% são justificados por base no trabalho de Vasconcelos *et al.* (2019) e nos ensaios realizados em laboratório que demonstraram resultados mecânicos satisfatórios desses teores para aplicação em camada de base. É importante observar que o teor de 1,6% no trecho 1, de 260 m, surgiu a partir de restrições operacionais durante a execução.

3.2. Coleta de dados para avaliação estrutural

O levantamento estrutural foi realizado conforme DNER (1996), por meio do *Falling Weight Deflectometer* (FWD), em agosto de 2019, com o trecho finalizado e pista em operação. A Figura 4 ilustra o levantamento executado com o trecho em serviço.

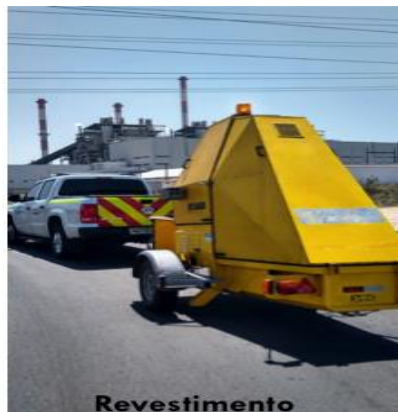


Figura 4: Equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

A Tabela 2 mostra os critérios de aceitabilidade adotados para os levantamentos no trecho experimental, em função das deflexões de uma carga pré-estabelecida de 40 kN distribuída sobre uma área circular de 30 cm de diâmetro. Os ensaios defletoométricos foram realizados a cada 20 m em ambas as faixas externas das duas pistas. Foram considerados os resultados com 14 dias de cura do revestimento.

Tabela 2: Deflexão admissível (D_{adm}) para os trecho analisados

Trecho	1	2	3	4
D_{0adm} (1/100mm)	109	109	78	85

Foram estabelecidos critérios de monitoramento para cada deflexão analisada, de maneira a obterem 4 classes distintas de inspeção, representado a classificação do ponto analisado por cores (Tabela 3). Essa divisão de classes foi elaborada pelos autores com fundamento em Bernucci *et al.* (2010).

Tabela 3: Classes elaboradas para as deflexões

Intervalos de Deflexão D_0 (0,01 mm)	Cores	Critério
$D_0 < 40$	Verde	Aceito
$40 \leq D_0 < 60$	Amarelo	Requer atenção
$60 \leq D_0 < 90$	Laranja	Propício a fissuração precoce
$90 \leq D_0$	Vermelho	Não adequado para o tráfego

Para o cálculo da deflexão admissível (D_{adm}) foram considerados diferentes níveis de tráfego, e, com base no Número N (número de repetições do eixo-padrão de 8,2 tf), conforme equação 1, obtiveram-se os valores demonstrados na Tabela 4.

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N \quad (1)$$

Tabela 4: Critérios adotados para o revestimento em serviço

Número N	Tráfego	D_{adm} (0,01 mm)
10^8	Pesado	≤ 40
10^7	Médio	≤ 60
10^6	Leve	≤ 90

3.3. Coleta de dados para avaliação funcional

A avaliação funcional consistiu no levantamento por meio de um aplicativo denominado *SmartIRI*, desenvolvido por Almeida (2018), no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, calculando o IRI por meio da correlação com o RMSVA (*Root Mean Square Vertical Acceleration*). O aplicativo realiza o tratamento dos dados, fornecendo os parâmetros de IRI, hora de avaliação, velocidade média, distância percorrida e coordenadas geográficas do trecho analisado.

Os levantamentos dos valores de IRI foram realizados mensalmente durante os meses de agosto de 2019 a fevereiro de 2020 em toda a extensão do trecho para ambos os sentidos nas faixas de tráfego externas. A classificação para os valores de IRI estão dispostos na Tabela 5, em intervalos de medição de 100 metros.

Tabela 5: Classificação proposta pelo *SmartIRI* (Almeida, 2018)

Intervalos de IRI (m/Km)	Classificação
$IRI < 2$	Excelente
$2 \leq IRI < 4$	Bom
$4 \leq IRI < 6$	Regular
$6 \leq IRI$	Ruim

Para cada levantamento utilizou-se o mesmo veículo com pneus calibrados em 32 *psi*, conforme as orientações do fabricante, e velocidade média de 60 km/h. O *smartphone* foi fixado no para-brisa do veículo, em um suporte do tipo *Vehicle Dock*, de modo a evitar as vibrações excessivas, aumento a acurácia nos resultados obtidos, como recomendado por Forslöv e Jones (2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De posse dos critérios adotados e dos resultados dos levantamentos por meio do FWD, a Figura 5 representa o valor de cada deflexão de projeto obtida quanto à classificação do trecho.

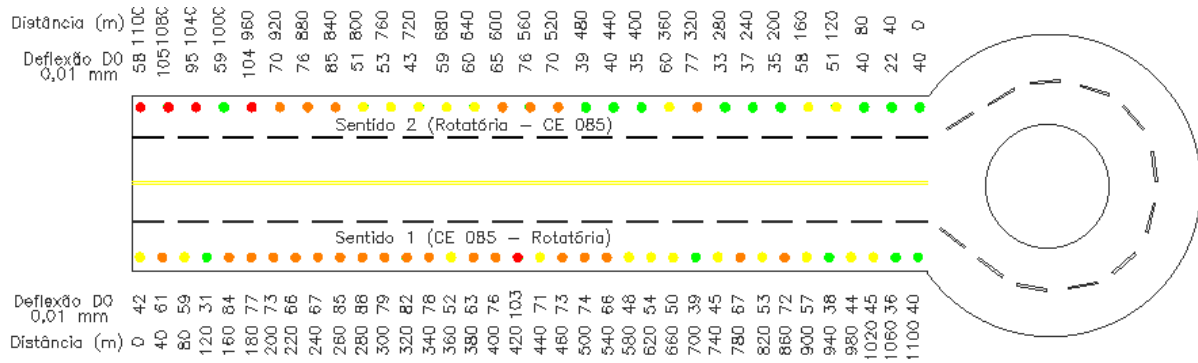


Figura 5: Valores de deflexões e critérios de monitoramento

Considerando os resultados na Figura 5, as deflexões medidas variaram de 22×10^{-2} mm (adequado inclusive para tráfego pesado) a 105×10^{-2} mm (inadequado inclusive para pavimentos de baixo volume de tráfego). A média das deflexões do trecho foi de 61×10^{-2} mm e desvio padrão de $19,10 \times 10^{-2}$ mm, o que poderia levar à classificação do trecho como sendo adequado apenas para tráfego médio ($\leq 60 \times 10^{-2}$ mm). Existe, todavia, bastante variabilidade nas deflexões medidas, com coeficiente de variação igual a 30,36%, conforme foi observado ao longo do levantamento realizado.

Entre a estaca 10 e à estaca 15 (Figura 6a), está, particularmente, a parte mais baixa de todo o trecho experimental. Este segmento possui alguns dispositivos de drenagem tais como bueiros e descidas d'água, e, detectou-se desde o início da utilização do trecho como parte crítica do ponto de vista estrutural, pois, pouco tempo após a abertura do trecho ao tráfego, foi necessária realizar medida corretiva, tal como a execução de remendo (Figura 6b). Ressalte-se que parte desse segmento possui em sua camada de base baixo teor de cal (1,6%).



Figura 6: Vista geral da parte de menor cota e presença de remendo

A Figura 7 apresenta um panorama da condição estrutural do trecho avaliado. Observa-se que cerca de 20% dos pontos avaliados apresentaram deflectometria compatível com uma via para alto volume de tráfego, enquanto cerca de 60% do trecho apresentou deflectometria adequada para tráfego médio. Existem pontos no trecho que não se adequaram nem para tráfego leve, que coincide inclusive com uma zona com presença de remendo.

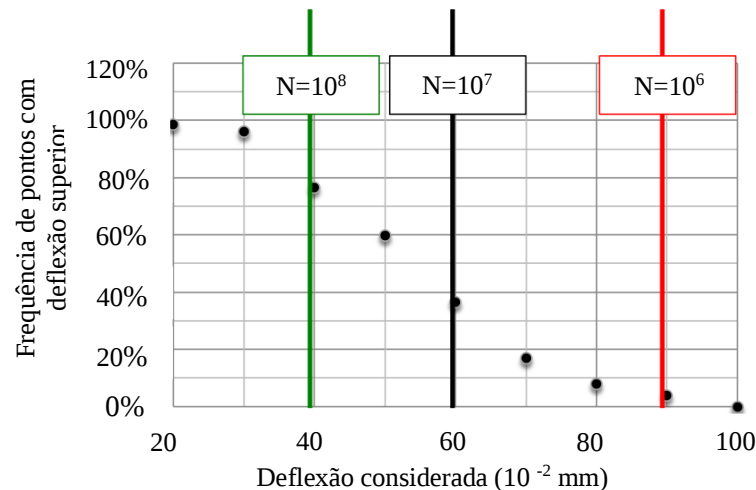


Figura 7: Visão geral da condição estrutural do trecho avaliado

De modo a comparar os valores das deflexões de projeto com os valores obtidos para irregularidade longitudinal por meio do IRI (média dos levantamentos dos meses de agosto/19 a fevereiro/20), realizou-se um gráfico de linhas para ambos os sentidos percorridos. Nota-se, observando a Figura 8, que existem (9,10%) pontos com deflexões maiores que 90×10^{-2} mm. É possível notar, também, que na região mais baixa, além de apresentar elevados valores de deflexão de projeto, foram verificados altos valores de IRI, maiores que 4,0 m/km (sentido 2), configurando-se em uma condição de trafegabilidade ruim. Nota-se, para o gráfico de linhas, que os valores de IRI possuem início após 100 m de medição devido às configurações do aplicativo utilizado.

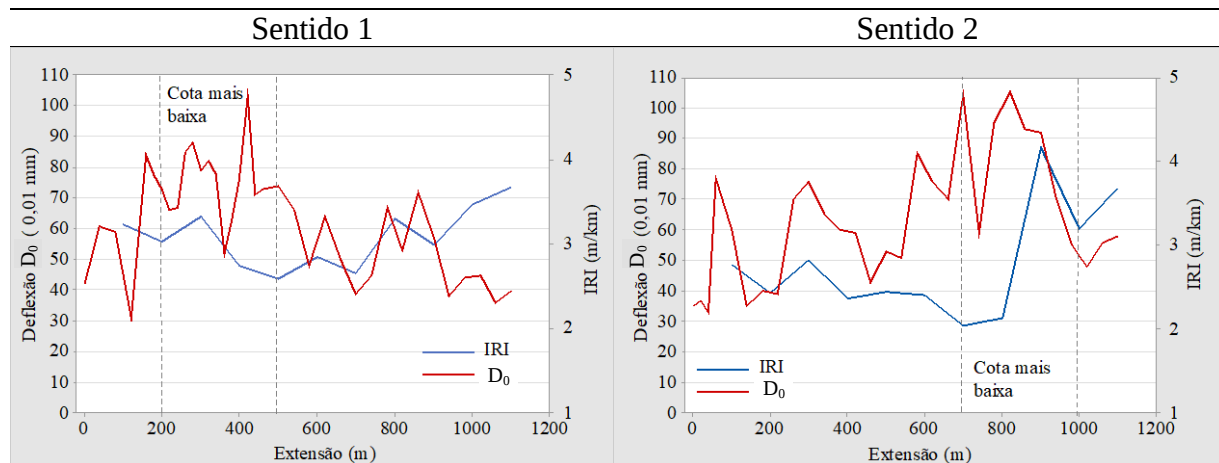


Figura 8: Valores de deflexão e IRI obtidos nos sentidos 1 e 2

Ainda de acordo com a Figura 8, é possível observar uma relação entre qualidade estrutural e funcional para a região de menor cota, pois existem elevados valores de deflexão e de IRI. Essa relação deve-se ao fato do surgimento de irregularidade devido à redução de capacidade de suporte das camadas granulares ou do revestimento, haja vista que foram detectados valores acima de 100×10^{-2} mm para esta região, ocasionando assim uma relação entre deficiência estrutural e qualidade funcional.

Para as demais regiões, não foi possível observar relação satisfatória entre essas características. A avaliação estrutural detectou em grande parte do trecho (82%, em ambos os sentidos) altos

valores de deflexão, enquanto que a irregularidade longitudinal manteve-se em valores aceitáveis ($< 3,0$ m/km). Por ser um trecho com pouco mais de um ano de construção e com levantamento tanto estrutural como funcional logo após a sua construção, possivelmente o revestimento ainda está na fase de consolidação, o que pode explicar as altas deflexões de projeto e baixos valores de irregularidade, haja vista que ainda não foram verificados defeitos na superfície, salvo na região de menor cota. A variação dos dados de deflexão de projeto e de IRI para os trechos inspecionados em ambos os sentidos corrobora a elevada variação dos valores de deflexão de projeto e a baixa variação dos valores de irregularidade observando o comportamento dos gráficos da Figura 9.

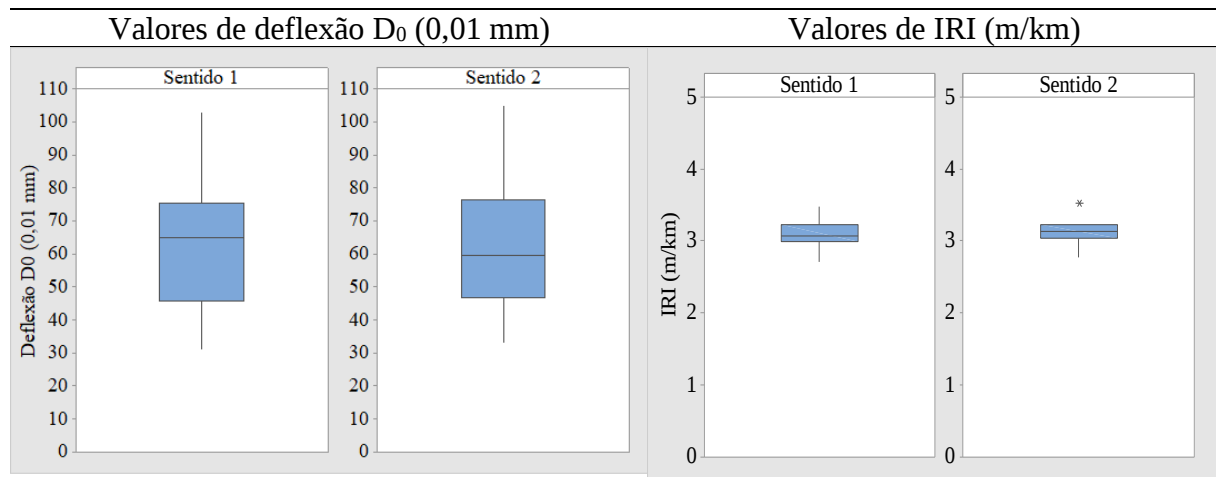


Figura 9: Boxplot das deflexões de projeto e do IRI

Mediante análise estatística descritiva das avaliações realizadas para o mês de agosto/19 (avaliação estrutural) e média do meses de agosto/19 a fevereiro/20 (avaliação funcional), constatou-se que os levantamentos no Sentido 2 apresentaram os maiores coeficientes de variação, 33,03% e 7,18%, respectivamente para a avaliação estrutural e a funcional, em comparação com os obtidos no Sentido 1, que foram de 27,69% e 6,74%. Por meio de análise qualitativa, averiguou-se que os Sentidos 1 e 2 apresentaram 82,71% com valores de deflexão acima de 40×10^{-2} mm, demonstrando que a maior parte do pavimento requer atenção em relação à qualidade estrutural, devido à provável ocorrência de fissuração precoce.

Em relação à análise qualitativa dos valores IRI, coletados pelo o aplicativo *SmartIRI*, notou-se que, em alguns segmentos (sobretudo na região de menor cota), foi obtida a classificação com o conceito regular. No entanto, para os sentidos 1 e 2, todas as médias mensais (todo o trecho) apresentaram condições de trafegabilidade classificadas com o conceito bom.

5. CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos pode-se inferir que devido à recente construção do pavimento, não foi possível relacionar os dados de deflexão da estrutura com os dados de irregularidade longitudinal, salvo na região de menor cota do trecho na qual houve a redução da capacidade de suporte estrutural e consequente aumento da irregularidade longitudinal. Isso ocorre devido à irregularidade ser mais evidente quando existem defeitos de superfície. Esses defeitos, tanto isoladamente quando combinados, tendem a majorar os valores de irregularidade longitudinal, algo que foi verificado na região de menor cota, haja vista que foram detectados remendos e ondulações.

Foram constatados altos valores para as deflexões de projeto. Para o Sentido 1 foram detectados 86,12% dos valores obtidos com indicação para o monitoramento estrutural, enquanto que para o Sentido 2, esse valor foi de 79,31%. Foi possível verificar, também, que a coleta para os dados estruturais foi realizada com 14 dias após a execução do revestimento asfáltico, o que pode justificar as elevadas deflexões de projeto da estrutura, haja vista que o pavimento pode estar na fase de consolidação. Observou-se que altos valores de deflexão de projeto foram verificados na região na qual existe a menor porcentagem de cal na camada de base (1,6%).

Espera-se, portanto, que a análise estrutural e funcional apresentada neste artigo, permita a adoção de pavimentos com melhor custo-benefício e maior durabilidade. É significativo, portanto, que a decisão por uma infraestrutura rodoviária esteja atenta principalmente aos fatores ambientais e seja pautada em considerações ambientalmente sustentáveis e tecnicamente possíveis para viabilizar a utilização de materiais alternativos na pavimentação asfáltica, como por exemplo, o uso de cinzas volantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Energia Elétrica - Aneel (órgão regulador), à Energia Pecém e à Eneva pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. C. (2018) *Aplicativo para smartphone destinado à medição da irregularidade longitudinal em rodovias*. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Almeida, L. C.; Oliveira, F. H; Ramos, S. P. (2018) Estudo da condição de superfícies em rodovias por meio do uso de aplicativo para smartphone. *Revista Transportes*, v. 25, n. 2, p. 70-83.
- ASMT (2004) *ASMT E 867-04 - Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems*. Estados Unidos.
- Balbo, J. T. (2007) *Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Barella, R. M.; Massara Filho, S. O.; Balbo, J. T. (2005) *Irregularidade Longitudinal de Pavimentos: Sensibilidade de Perfis, Correlação Entre QI e IRI e Comparação de Equipamentos*. XIX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes – XIX Anpet, Recife.
- Bernucci L.B.; Motta, L.M.G.; Ceratti, J.A.P.; Soares, J.B. (2010) *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros* – Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 501p.
- Bisconsin, D. R., Nunez, J. Y. M., Nicoletti, R., Fernandes Júnior, J. L. (2016) *Considerações sobre o uso de smartphones para a avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos*. Anais eletrônicos do XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, p. 356-366, Rio de Janeiro.
- DNIT (2003) *PRO 006/2003 - Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos*. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- DNIT (2006) *IPR 720 - Manual de restauração de pavimentos asfálticos*. 2. ed. Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro.
- DNER (1996) *PRO 273/96 - Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo Falling Weight Deflectometer – FWD*, Rio de Janeiro.
- DNER. (1979) *PRO 011/79 - Avaliação estrutural de pavimentos flexíveis – volume 1*. Rio de Janeiro.
- Forslöf, L.; Jones, H. (2015) *Roadroid: continuous road condition monitoring with smart phones*. In: IRF 17th World Meeting and Exhibition, Riyadh, Saudi Arabia. Riyadh: IRF 17th World Meeting and Exhibition.
- Google Earth (2020). Disponível em: <<https://www.google.com/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: maio de 2020.
- Haas, R.; Hudson, W.R.; Zaniewski, J.P. (1994) *Modern Pavement Management*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Martins, M. F.; Bueno, L. D.; Specht, P. L.; Hallal, R. R.; Coelho, H. O.; Pereira, D. S. (2018) Avaliação da não linearidade de módulos de resiliência retroanalizados de materiais granulares da base de pavimentos obtidos durante o controle tecnológico da duplicação de uma rodovia no RS. *Revista CIATEC*, v. 10, n. 10, p. 31-42.
- Medina, J.; Motta, L. M. G. (2005) *Mecânica dos Pavimentos* (2ª Ed). Editora Interciência, Rio de Janeiro.

- Punthutaecha, J.; Kongkitkul, W.; Manokhoon, K.; Youwai, S. (2009) *Development of Falling Weight Deflectometer (FWD) for Evaluating the Pavement Conditions*. Asian Transportation Research Society – ATRANS, Bangkok.
- Sayers, W. M.; Gillespie, D. T.; Paterson, O. D. W. (1986) *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. World Bank Technical Paper Number 46, World Bank, Washington, D. C., USA.
- Santos, C. R. G. (2011) *Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística*. 263p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Sauerewin, P. M.; Smith B. L. (2011) *Investigation of the Implementation of a Probe-Vehicle Based Pavement Roughness Estimation System*. Mid-Atlantic Universities Transportation Center, University Park, Pa.
- Vasconcelos, S. D.; Barroso, S. H. A.; Vieira, F. A. F.; Almeida, H. B. F. (2019). Avaliação do uso de cinzas de carvão mineral produzidas em usina termelétrica na construção de pavimentos. *Revista Transportes*, v. 27, n. 2, p. 73-89.

José Wémenson R. Chaves (wemensonrabelo@gmail.com)
Lucas Cavalcante de Almeida (lucascavalcante@det.ufc.br)
Francisco Heber L. De Oliveira (heber@det.ufc.br)
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes
Universidade Federal do Ceará