

AVALIAÇÃO DE CONDIÇÃO DE CAMADAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS ASFÁLTICOS COM USO DE FUNÇÃO GERADORA DE MÓDULOS SEMENTES EM BACIAS DE BAIXO RAIOS DE CURVATURA

JULIANO DOS SANTOS GIUSTI¹; ANDERSON CAETANO FEIRA²; JÉSSICA PETER REICHOW³; KLAUS MACHADO THEISEN⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – julianosgiusti@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – anderson.cfeira@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – jessicapeter22@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – theisenkm@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Os pavimentos são estruturas que apresentam deterioração funcional e estrutural acumuladas a partir de sua abertura ao tráfego (BERNUCCI ET AL, 2022). A avaliação estrutural em pavimentos consiste em determinar a capacidade de carga dos mesmos e a eventual necessidade de reforço da estrutura existente para garantir seu desempenho por tempo adicional de vida útil. Esta avaliação é importante para que o projetista tenha informações quanto a sua adequação estrutural, o grau de restauração e a melhor alternativa para o restauro. O método mais adequado para avaliar grandes extensões de pistas é o que emprega medidas não-destrutivas, isto é, medidas de deflexão. Tais medidas podem ser obtidas por meio do equipamento *falling weight deflectometer* (FWD), tendo este como base carregamentos por impacto (BERNUCCI ET AL, 2022).

No Manual do DNIT (2006) consta que na aplicação dos parâmetros deflectométricos à avaliação estrutural, analisa-se o emprego da deflexão máxima, do raio de curvatura e a avaliação de módulos por retroanálise. O raio de curvatura é um indicativo dos valores dos módulos elásticos das camadas superiores do pavimento. Quanto menor o raio de curvatura, pior é a condição estrutural em que o pavimento se encontra. Pavimentos com raio de curvatura menor que 100 metros são considerados de regular a má qualidade estrutural, segundo o procedimento DNER PRO 11/79 (DNER, 1979).

Para descrição de bacias deflectométricas, FONSECA et al. (2021) se utilizam de três parâmetros: área normalizada (A_n), deflexão máxima (D_0) e constante de ajuste “n”, onde as bacias seguem os seguintes pressupostos: i) são oriundas de dados de campo ou simulações de carregamentos aplicados por FWD; ii) ajustam-se satisfatoriamente ao modelo de ALBERNAZ (1997) e iii) têm a maior distância (referente ao centro do carregamento) de medida de deflexões igual a 180 cm, para assim, criarem o conceito de Área Normalizada (A_n) de bacias deflectométricas. Assim, o método descreve as bacias melhor que deflexão máxima ($D(0)$) e raio de curvatura (R_c) apenas.

Desta forma, o objetivo do trabalho foi verificar como o método de FONSECA et al. (2021) pode auxiliar nas análises de camadas de um pavimento e se ele pode ser mais efetivo que uma avaliação de bacias deflectométricas descritas apenas em função do R_c e $D(0)$.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste em utilizar o modelo de ALBERNAZ (1997) (equação 1), para gerar diferentes bacias deflectométricas para diversos

valores de deflexão máxima: 1000, 900, 800, 700, 600 e 500 microns, fazendo uso de diferentes áreas normalizadas, que variam de 0,9 até 0,1 em intervalos de 0,1 para diferentes valores de n e de k , que são constantes de ajuste.

$$D(x) = \frac{D(0)}{1+kx^n} \quad (1)$$

Onde $D(x)$ é a deflexão no ponto correspondente à distância radial (x); $D(0)$ é a Deflexão máxima sob o centro da área carregada ($x = 0\text{cm}$) e $k;n$ são constantes da equação obtidos no ajuste da bacia, onde n difere a forma da bacia deflectométrica, uma vez que tem-se infinitas formas de bacia para uma mesma An . A área normalizada de Fonseca et al. (2021) é expressa pela equação 2:

$$AN = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{180 \text{ cm}} \right) \left[\frac{1}{1+k(x_{i+1})^n} + \frac{1}{1+k(x_i)^n} \right] \quad (2)$$

Utilizando o modelo de ALBERNAZ (1997), foram calculadas as deflexões para distâncias até 180 cm, o raio de curvatura (Rc), em metros, é obtido em função de $D(0)$ e $D(25\text{cm})$, em centésimos de milímetro, segundo a equação 3:

$$Rc = \frac{6250}{2[D(0) - D(25\text{cm})]} \quad (3)$$

Segundo o Manual do DNIT (2006), um pavimento cujo raio de curvatura seja menor que 100 metros, é considerado de regular a má qualidade estrutural, desse jeito, para cada deflexão utilizada, foram encontrados pares $n \times$ área normalizada que resultaram raios de curvatura iguais a 100 metros para bacias com $1 \leq n \leq 2$, onde é válida a aplicação do método de FONSECA et al. (2021).

Após a obtenção destes parâmetros, aplicou-se o método de geração de módulos sementes de FONSECA et al. (2021), a fim de obter os módulos de resiliência para cada camada do pavimento. Simulou-se um pavimento de três camadas, com espessuras de revestimento de 10, 15 e 20cm; de base e de sub-base de 15, 30 e 45cm, gerando assim 27 combinações de espessuras de camadas para cada par ordenado de raio de curvatura de 100m.

Na sequência, os módulos de resiliência (MR 's) encontrados foram comparados com os módulos tabelados para os materiais de cada camada contidos na Tabela 7 de DER (2006). As camadas de revestimento foram consideradas muito degradadas se seu MR 's forem menores que 1000MPa, degradadas se entre 1000 e 2000MPa ou em boa condição caso maior que 2000MPa. As camadas de base foram consideradas degradadas com MR 's menores que 150MPa e em boa condição se maiores que 150MPa. O subleito é considerado de péssima rigidez quando seus MR 's forem maiores que 75MPa, de baixa rigidez entre 75 e 100MPa ou de boa rigidez quando maior que 100MPa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentro dos parâmetros analisados, foram encontrados 8 conjuntos de variáveis que resultaram um Rc de 100 metros com um n entre 1 e 2, são eles, dados em $D(0)$ (MPa), Área Normalizada (An) e n , respectivamente:

(1000;0,4;1,2), (1000;0,3;1,83), (900;0,3;1,65), (900;0,4;1,04), (800;0,3;1,44), (700;0,3;1,19), (600;0,2;1,83) e (500;0,2;1,15).

Utilizando o gerador de módulos sementes de FONSECA et al. (2021), foram encontrados [módulos de resiliência para as camadas de revestimento, base e subleito](#), com a classificação empregada descrita na metodologia encontrou-se os percentuais de incidência das condições das camadas para os conjuntos de variáveis D(0),An,n mencionados anteriormente, vistos na Figura 1:

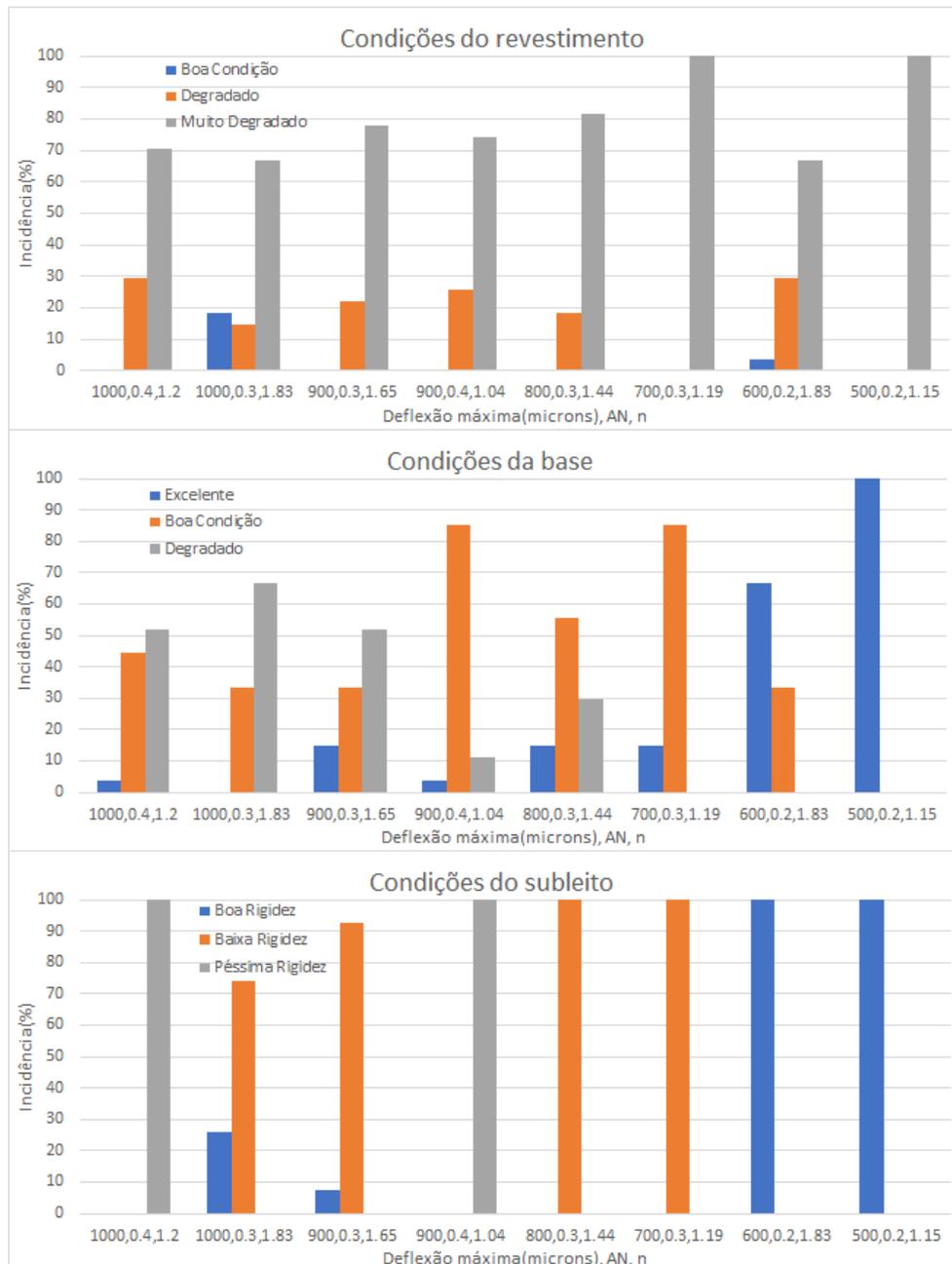


Figura 1: incidência de condições das camadas
Fonte: Própria

Os resultados encontrados evidenciam algumas claras tendências. A condição do subleito se mostra melhor quando há valores pequenos de AN e valores altos de n. A sub-base demonstra ter um comportamento parecido com o subleito, beneficiando-se quando o AN é menor, porém, não tão atrelada ao valor

de n . Já para o revestimento, foi possível perceber que quando a espessura da camada é maior que 10cm, a condição foi muito degradada, ao passo que para revestimentos menos espessos, foram encontrados casos de boa condição, principalmente onde houveram valores maiores de n .

4. CONCLUSÕES

Dado o exposto, conclui-se que ao distinguir as bacias por sua área normalizada e constante n de ALBERNAZ(1997), é possível detectar qual a camada do pavimento que está degradada, sendo possível encontrar a melhor alternativa para um possível reparo. Portanto, é possível afirmar que a ferramenta se mostra mais efetiva do que uma avaliação de bacias deflectométricas baseada apenas na análise do R_c e $D(0)$. Entretanto, estudos adicionais baseados em módulos de resiliências obtidos via retroanálise são necessários para confirmação e aprimoramento dos resultados obtidos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERNAZ, C. A. V. Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, 1997.

BERNUCCI, L. L. B., et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2ª edição, 2022.

BRASIL. Manual de restauração dos pavimentos asfálticos. 2ed. Rio de Janeiro, Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006b.

FONSECA, O. K.; THEISEN, P. M., THEISEN, K. M. Estudo de Aplicação de Banco de Dados Deflectométricos Baseado em Três Parâmetros Para Geração de Módulos Semente em Retroanálise Empregando o Programa Backmedina. Anais do 23º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária 46ª Reunião Anual de Pavimentação, Brasília, Distrito Federal - 05 a 08 de outubro de 2021, p. 256-270, 2021.

DNER. DNER/DrDTc (IPR). Normas Rodoviárias, DNER-PRO 011/79. Avaliação Estrutural de Pavimentos Flexíveis: Procedimento B, [S. l.], ano 79, v. 1, n. 011, p. 01-16, 29 jan. 1979.

DER (SP). DIRETORIA DE ENGENHARIA. INSTRUÇÃO DE PROJETO. PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO, [S. l.], ano 2006, v. A, p. 1-53, JAN 2006.