

CORRELAÇÃO ENTRE OS DADOS DEFLECTOMÉTRICOS OBTIDOS COM VIGA BENKELMAN E DEFLECTÔMETRO DE PESO LEVE (LWD): ESTUDO DE CASO PARA ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO PAVIMENTO

CORRELATION BETWEEN DEFLECTOMETRIC DATA OBTAINED WITH BENKELMAN BEAM AND LIGHTWEIGHT DEFLECTOMETER (LWD): A CASE STUDY FOR MECHANICAL ANALYSIS OF THE PAVEMENT

Maurício Nunes Cabral¹
Martônio José Marques Francelino²

RESUMO

Este artigo apresenta um estudo de caso para reflexão das boas práticas necessárias para uma investigação a respeito dos critérios necessários para correlações das medidas de deflexão de uma pavimentação por aparelhos com funções semelhantes. As deflexões, além de desempenharem um papel fundamental na avaliação da integridade estrutural e no desempenho dos pavimentos, é uma das principais informações para dimensionamento de reforços nessas estruturas. A viga Benkelman (VB), equipamento deflectométrico bem estabelecido e de uso corriqueiro, tem seus dados amplamente utilizados como parâmetros de entrada em vários métodos para reforços no pavimento. Diante dessa perspectiva, o presente artigo tem como objetivo analisar a viabilidade do uso do ensaio do Deflectômetro de Peso Leve (LWD), cujo emprego tem crescido no transcorrer dos últimos anos, e seus dados de deflexão para os mesmos fins em que os dados da viga Benkelman são empregados. Nesse contexto, para coleta de informações comparativas, esta pesquisa apresenta o estudo realizado em duas rodovias, ambas apresentando dois segmentos, um com revestimento em concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ) e o outro sobre camada de solo natural compactado. Posteriormente, utilizando-se o software Excel, uma análise estatística com modelos de regressão foi conduzida com as medições deflectométricas obtidas em campo e comparadas com estudos de outros autores. Os resultados indicaram a impossibilidade de estabelecer, nesse estudo de caso, uma correlação válida entre os dois equipamentos, contudo possibilitam uma reflexão sobre os critérios essenciais para obtenção desses dados de campo.

Palavras-chave: viga benkelman; LWD; deflexão.

ABSTRACT

This article presents a case study for reflecting on the best practices necessary for an investigation regarding the criteria required for correlations of deflection measurements of pavement using similar devices. Deflections, in addition to playing a fundamental role in assessing structural integrity and pavement performance, are one of the key pieces of information for designing reinforcements in these structures. The Benkelman Beam (BB), a well-established and commonly used deflectometric device, has its data widely used as input

¹ Bacharelando em Engenharia Civil pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, 2023

² Doutor em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022.

parameters in various pavement reinforcement methods. Given this perspective, the present article aims to analyze the feasibility of using the Lightweight Deflectometer (LWD) test, whose use has grown in recent years, and its deflection data for the same purposes as the Benkelman Beam data. In this context, for comparative data collection, this research presents the study conducted on two highways, both featuring two segments, one with hot mix asphalt (HMA) pavement and the other over compacted natural soil. Subsequently, using Excel software, a statistical analysis with regression models was conducted with the deflectometric measurements obtained in the field and compared with studies by other authors. The results indicated the impossibility of establishing a valid correlation between the two devices in this case study; however, they do allow for reflection on the essential criteria for obtaining these field data.

Keywords: benkelman beam; LWD; deflection.

INTRODUÇÃO

Recomenda-se que o pavimento de uma rodovia seja projetado de maneira a atender um período de vida útil, ou ciclo de vida como também pode ser denominado, devendo manter um bom estado de utilização, tendo em vista a sua importância nas atividades de transporte que, por sua vez, exercem grande impacto socioeconômico no país (DNIT, 2006).

Bernucci *et al.* (2006) afirmam que, geralmente, os pavimentos não falham de maneira abrupta, mas sim por meio do processo gradual de deterioração funcional e estrutural que se acumula ao longo do tempo em que estão sujeitos ao tráfego, até que percam sua plena serventia.

Compreender os mecanismos que desencadeiam o processo de deterioração de um pavimento é imprescindível para que haja a elucidação das razões que conduziram à sua atual situação, além de ser base importante para a escolha da técnica mais adequada para a restauração. Neste contexto, o estudo da condição estrutural do pavimento irá fornecer informações indispensáveis quanto à sua adequação estrutural, permitindo o dimensionamento de uma alternativa mais apropriada, sendo os ensaios deflectométricos os mais adequados e utilizados para a interpretação desse comportamento estrutural (DNIT, 2006).

Ensaaios, ou levantamentos deflectométricos, são avaliações não destrutivas realizadas a partir de

equipamentos denominados deflectômetros, que irão mensurar as deformações elásticas verticais sofridas pelo pavimento quando estes são expostos à influência de uma carga, que também são conhecidas como deflexão. Rodrigues (2017) comenta que essas deflexões são responsáveis pelo aparecimento de grande parte das fissuras ao longo da existência da via, cuja continuidade pode resultar na fadiga do revestimento.

Apresentado como um dos ensaios de medida de deflexão mais usados no país, a viga Benkelman foi desenvolvida nos Estados Unidos pelo engenheiro Arthur Benkelman em 1950 e introduzida no Brasil em 1962. Embora seja um método simples, é trabalhoso e possui baixa precisão, especialmente quando são empregadas vigas comuns não automatizadas (Bernucci *et al.*, 2006). Ademais, diversos outros dispositivos para ensaios deflectométricos foram desenvolvidos ao longo dos anos, como pontuam Medina e Motta (2015), visando aprimorar os procedimentos de avaliação não destrutiva do pavimento, no sentido de aumentar a acurácia nas medições, otimizar o tempo gasto nos ensaios, simular de forma fidedigna as condições de carregamento de acordo com o tráfego, gerar dados de forma mais rápida e direta e reduzir os custos associados aos ensaios.

Neste contexto, temos a criação e uso de equipamentos denominados “de peso batente” como o FWD (Falling Weight Deflectometer), criado nos anos 1980 e

implementado para uso no Brasil em 1994 (BERNUCCI *et al.*, 2006), e posteriormente o Light Weight Deflectometer (LWD) ou deflectômetro de peso leve, caracterizado por ser um deflectômetro de impacto com cargas baixas, sendo uma versão simplificada que pode ser operada manualmente e usada durante ou após a construção das camadas do pavimento (Medina; Motta, 2015).

Conforme destacado por Rodrigues (2018), o equipamento LWD possui uma introdução mais tardia no mercado se comparado com seus precursores, entretanto se apresenta como uma opção mais vantajosa em virtude da sua característica portátil, conferindo maior rapidez e praticidade nos ensaios. Além disso, o equipamento fornece uma leitura da via sem demandar alterações substanciais ou interrupções significativas no fluxo do tráfego local, tornando-o particularmente adequado em cenários que envolvam dificuldades de acesso para instrumentação de maior porte.

Diante desta perspectiva, o presente estudo de caso tem como objetivo identificar a existência de uma correlação entre a VB e o LWD que justificasse a viabilidade do uso do ensaio do deflectômetro de peso leve e seus dados de deflexão para os mesmos fins em que os dados de viga Benkelman são empregados, possibilitando, assim, a adoção de um equipamento mais simplificado, nas respectivas rodovias estudadas. Desta forma, pretende-se comparar e estabelecer uma correlação estatística entre as medições de deflexão obtidas pelos ensaios de viga Benkelman e LWD.

REFERENCIAL TEÓRICO

Revisão de literatura

Foram examinadas pesquisas anteriores que buscaram correlacionar deflexões medidas por diferentes equipamentos, que abordem o tema de maneira semelhante, com o intuito de

compreender, avaliar e comparar os dados obtidos, por meio dos ensaios de campo e das análises estatísticas, montando não apenas uma fundamentação teórica para a condução desta pesquisa, mas também ajudando a entender ou questionar os dados obtidos.

O DNIT (2006) pontua que os modelos estatísticos correlacionando medidas de deflexão entre dois equipamentos diferentes podem ser sensíveis a diversos fatores, uma vez que a deflexão está intimamente relacionada à capacidade elástica da estrutura do pavimento. Essa afirmação pode explicar a baixa taxa de sucesso alcançada no presente estudo, ao tentar estabelecer correlações entre as medições realizadas. Limitações metodológicas como a falta de conhecimento acerca das espessuras das camadas constituintes das estruturas dos pavimentos avaliados, assim como o grau de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC) dessas camadas e a caracterização do subleito, podem ter impedido a avaliação de aferições que representavam dispersões dentro de um segmento homogêneo ou com estrutura da mesma característica. Sob a mesma ótica, é pertinente ressaltar também que o conhecimento sobre a espessura das camadas é algo fundamental para a escolha do equipamento correto de LWD, conforme explicado anteriormente, sob o risco de não estar aferindo a deflexão máxima devido à possível robustez da estrutura.

A dificuldade em estabelecer uma correlação entre os dados deflectométricos obtidos pelos dois equipamentos foi enfrentada por pesquisadores que realizaram estudos similares anteriormente, embora alguns deles tenham conseguido identificar um modelo satisfatório em algum momento.

Conforme citado anteriormente, Rodrigues (2018) e Beninca e Santos (2021) obtiveram sucesso ao tentar relacionar os dados deflectométricos dos ensaios em estudo, obtendo uma inter-relação satisfatória a partir de seus modelos

estatísticos. Todavia, assim como o observado na presente pesquisa, Nery e Santos (2022) e Martello e Garcez (2022) não obtiveram sucesso ao tentar encontrar uma correlação válida entre as medidas aferidas.

Nos estudos supracitados, foram identificadas deflexões médias obtidas por meio do ensaio de deflexão com peso leve que excederam as medidas médias obtidas pelo ensaio viga Benkelman.

Rodrigues (2018), Beninca e Santos (2021) e Nery e Santos (2022) estudaram trechos significativamente maiores do que os analisados nesse trabalho, possuindo mais pontos e consequentemente um maior espaço amostral.

Convém pontuar também que, ainda que haja um maior detalhamento da estrutura ensaiada e uma amostra maior de dados, não é possível inferir com certeza que haverá sucesso na obtenção de correlações satisfatórias, conforme é possível observar em Nery e Santos (2022), que investigaram 110 pontos em 6 segmentos homogêneos de uma via de extensão total de 9,4 km, possuindo assim uma quantidade maior de pontos estudados, quando comparado com esse trabalho, além de ter feito a análise em estruturas definidas e de características conhecidas, mas ainda assim não obteve sucesso ao tentar achar relação entre os dados deflectométricos do LWD e da VB.

Métodos de avaliação estrutural do pavimento

As estruturas dos pavimentos manifestam tendências a sofrer deformações originadas pela ação de cargas provenientes das rodas dos veículos em trânsito. Neste cenário, emergem as análises estruturais, cujo propósito reside na informação da qualidade global do pavimento, mediante a inspeção da sua capacidade de suportar carga, assim como na avaliação da sua resistência e da habilidade de deformação das suas camadas constituintes (BORGES, 2001).

Conforme Santana e Sá (2012) afirmam, a avaliação estrutural de um pavimento pode ser realizada através de métodos de caráter destrutivo, semi-destrutivo ou não destrutivo, sendo a mensuração da deflexão a principal abordagem para avaliar a condição estrutural de um pavimento em operação.

Ensaaios destrutivos e semi-destrutivos

Oliveira *et al.* (2000) explicam que os métodos destrutivos envolvem a extração de amostras da configuração do pavimento objeto de investigação, a fim de que as condições *in situ* possam ser submetidas a análises laboratoriais. Esses métodos são categorizados como destrutivos em virtude de comprometerem, para testes subsequentes, as áreas do pavimento que foram sujeitas à extração das amostras. Tais amostras, que podem ser retiradas da superfície do pavimento em condições deformadas ou não deformadas, são coletadas por meio de sondagens realizadas em poços específicos.

Já os métodos semi-destrutivos, por sua vez, causam danos localizados, que não provocam comprometimento ou perda no desempenho da estrutura, permitindo o uso da estrutura mediante reparo.

Esses ensaios podem fornecer informações mais detalhadas, determinar a integridade estrutural do material e suas propriedades mecânicas, mas se apresentam como desvantajosos pelo seu caráter destrutivo, podendo invalidar parcial ou totalmente a estrutura objeto de análise, demandando assim reparo ou substituição da mesma, elevando os custos inerentes ao procedimento de ensaio.

Ensaaios não destrutivos

Segundo Oliveira *et al.* (2000), os métodos não destrutivos têm como objetivo a mensuração da deformação elástica experimentada pelo pavimento durante a aplicação de cargas, com a determinação das depressões deflectométricas na sua superfície, e ainda preservando a

integridade da estrutura do pavimento em avaliação.

Esses ensaios possuem execução mais rápida, facilitando a inspeção em série, e apresentam como principal vantagem a conservação da estrutura avaliada. Por outro lado, se apresentam desvantajosos por demandarem equipamentos e mão de obra especializada para a sua realização, e podem ter sua aplicabilidade atenuada quando empregados em estruturas espessas.

Ensaio com viga Benkelman (VB)

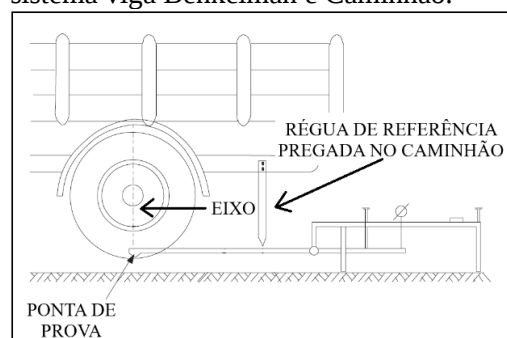
No Brasil, o uso da VB é normatizado pela DNIT 133/2010 - “Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman”, que é a revisão da norma DNER 061/94 - “Determinação das deflexões pela viga Benkelman”.

Conhecido como um dos aparelhos de avaliação de deflexão mais usados e difundidos no mundo graças a sua versatilidade e simplicidade, a viga foi desenvolvida na década de 1950 pelo engenheiro A. C. Benkelman, durante a construção de vias experimentais pela Administração Rodoviária Federal dos Estados Unidos. O equipamento e o procedimento de ensaio passaram por estudos de engenheiros canadenses da *Canadian Good Roads Association* (CGRA) e posteriormente adotado mundialmente. No Brasil, foi introduzida a partir dos anos 60, e atualmente é normatizada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (Borges, 2001).

A estrutura da VB (Figuras 1 e 2) é composta por uma viga horizontal apoiada sobre três pés, sendo um traseiro e dois dianteiros. Um braço de prova é fixado à parte frontal da viga de referência, sendo a porção maior posicionada à frente da viga e a menor localizada abaixo dela, formando dois braços “A” e “B”, cuja razão entre seus comprimentos fornecerá a relação da viga,

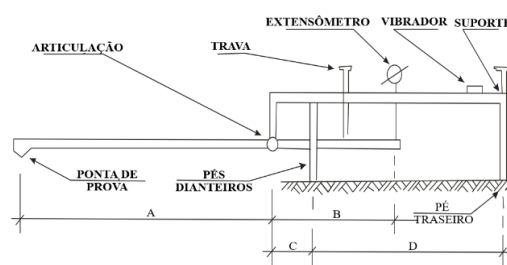
também chamada como constante da viga (Figura 2). A extremidade do braço de prova deve entrar em contato com o pavimento no ponto a ser ensaiado, enquanto na outra extremidade aciona um extensômetro, com sensibilidade de 0,01 mm. A carga de ensaio empregada é a roda dupla traseira direita de um caminhão basculante. No contexto brasileiro, as deflexões Benkelman são registradas sob carga de eixo de 8,2 toneladas-força ou carga de roda de 4,1 toneladas-força (DNIT, 2006).

Figura 1 – Representação esquemática do sistema viga Benkelman e Caminhão.



Fonte: Adaptado de DNIT (2006)

Figura 2 – Representação esquemática da viga Benkelman



Fonte: DNIT (2010)

Uma vez que a ponta do braço de prova é posicionada no centro de carga da roda dupla, realiza-se a leitura inicial (L_i) no extensômetro. Após o caminhão se afastar a uma distância superior a 5 metros do ponto de ensaio e decorrido um período suficiente para que o pavimento retorne à sua condição original, procede-se à segunda leitura (L_f) (DNIT, 2006).

A deflexão máxima (d) é obtida por meio da seguinte expressão:

$$d = (L_i - L_f) \times F \quad (1)$$

em que d : deflexão [mm^{-2}];
 L_i : leitura inicial [mm^{-2}];
 L_f : leitura final [mm^{-2}];
 F : Relação A/B (Cte. Da viga).

Ensaio com LWD

O Deflectômetro de Peso Leve (LWD), ou também conhecido como Deflectômetro de Impacto Leve ou Ligeiro, ainda não possui normatização nacional, baseando-se então na norma internacional ASTM E2835-21: “*Standard Test Method for Measuring Deflections using a Portable Impulse Plate Load Test Device*”.

Inventado na Alemanha, nos anos 1980, foi desenvolvido como uma opção ao tradicional aparelho deflectométrico FWD (*Falling Weight Deflectometer*). Sua singularidade reside na capacidade de ser adotado como alternativa em contextos nos quais a acessibilidade aos pontos de ensaio possa apresentar desafios, (Rodrigues, 2018 apud Benedetto *et al.*, 2012).

O dispositivo em análise é composto por uma célula de carga de elevada precisão, designada para aferir o limite máximo da força resultante de impacto gerado pela queda de pesos com massas de 10, 15 ou 20 kg. Estes pesos são fixados a uma placa de dimensões que possui um diâmetro de 300 mm. O procedimento experimental envolve a colocação do equipamento no local onde a prova é conduzida, seguida pela aplicação de uma carga dinâmica sobre a superfície do pavimento, dentro de um intervalo de tempo de 30 milissegundos. Simultaneamente a esta ação, procede-se à medição das variações dimensionais presentes nas camadas superficiais do pavimento, com o objetivo de obter o correspondente módulo de elasticidade (Rodrigues, 2018).

Figura 3 – Estrutura de um equipamento de LWD padrão.



Fonte: Rodrigues (2018)

Conforme observado por Nery e Santos (2020 apud Rodrigues, 2018), é possível elencar vantagens relevantes no uso do deflectômetro de peso leve:

- Ensaio realizado em tempo médio estimado em cerca de 2 minutos por ponto de teste;
- Dispensa a necessidade de um veículo de grande porte para aplicar carga ao pavimento, devido à sua configuração ergonomicamente concebida.
- Facilidade de transporte e operação, tendo em vista o caráter portátil do equipamento;
- Apresentação imediata dos resultados após a realização do ensaio além da possibilidade de impressão dos dados ou armazenamento em formato digital.

Sugere-se a aplicação do Deflectômetro de Peso Leve para a realização de ensaios em solos, particularmente em contextos relacionados a atividades de terraplenagem e desenvolvimento de infraestruturas de transporte. No que tange à utilização em estruturas de pavimentos asfálticos, é aconselhável optar pelo emprego do LWD

equipado com um pistão de aço temperado, em detrimento de uma placa de carga convencional. Tal escolha visa induzir uma deformação mensurável na superfície do pavimento asfáltico (Zorn Instruments, 2011).

Dados deflectométricos

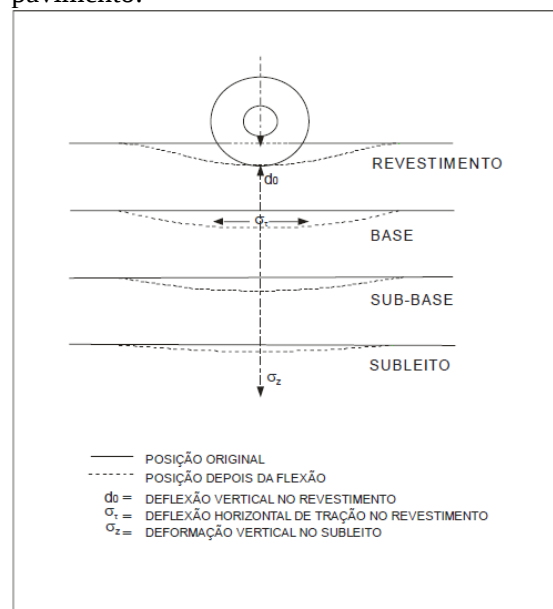
Quando submetidos à ação de cargas externas, pavimentos sofrem deformações que podem ser permanentes, denominadas como plásticas, ou deformações recuperáveis, denominadas elásticas (Velasco, 2018).

Nesse sentido, deflexões são as deformações elásticas verticais que acontecem no pavimento devido à passagem das rodas dos veículos. Essa deformação resulta no arqueamento das camadas da estrutura, e sua recorrência desempenha um papel central no fenômeno de fadiga das camadas asfálticas e cimentadas (Borges, 2001).

Os valores deflectométricos aumentam durante a vida útil do pavimento de acordo com o número de repetições de carga sobre a superfície. Essas deformações elásticas ocasionam microfissuras que evoluem até o ponto de fadiga do pavimento. (Velasco, 2018 apud Medina; Motta, 2015).

A heterogeneidade e os materiais presentes na estrutura avaliada em campo são fatores cruciais nas medidas de deflexões atuantes verificadas, isso porque esses aspectos afetam diretamente os valores do módulo resiliência das camadas do pavimento (Velasco, 2018).

Figura 4 – Deflexão de uma estrutura de pavimento.



Fonte: DNIT (2006)

Conforme Borges (2001, apud Rocha, 1996), diversos fatores exercem influência significativa sobre a magnitude das deflexões, tais como:

- Variáveis ambientais, incluindo temperatura e umidade;
- Intensidade do carregamento aplicado;
- Precisão dos dispositivos de medição;
- Propriedades intrínsecas das camadas que compõem a estrutura do pavimento, como espessura e posição.

Correlação entre dados deflectométricos obtidos por diferentes ensaios

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006), em seu manual de restauração de pavimentos asfálticos, aborda a perspectiva de estabelecer correlações entre diversos equipamentos deflectométricos. Diante do amplo uso já estabelecido da viga Benkelman e do FWD, são examinados estudos que conseguiram identificar correlações válidas. Destaca-se o trabalho de Fabrício *et al.* (1988), que conseguiu estabelecer uma correlação não linear altamente significativa ($R^2 = 0,95$) entre as deflexões medidas pelos equipamentos mencionados. Além disso, Borges (2001)

definiu correlações lineares significantes com um coeficiente de determinação de 0,84. Esses estudos indicam a possibilidade de desenvolver modelos comparativos usuais entre dados defletoométricos obtidos com diferentes equipamentos, corroborando o objetivo central desta pesquisa.

Embora a correlação entre os dados seja viável, o DNIT (2006) destaca que os modelos são sensíveis a múltiplos fatores, uma vez que a deflexão está intrinsecamente ligada à resposta elástica da estrutura do pavimento. Consequentemente, não existem modelos genéricos capazes de serem aplicados universalmente, razão pela qual é recomendável que os projetistas desenvolvam seus próprios modelos de correlação.

Em sua dissertação, Rodrigues (2018) analisou segmentos de CBUQ sobre base granular e CBUQ sobre alvenaria de paralelepípedos. Ele constatou que, na maioria dos trechos estudados, as deflexões médias medidas pela viga Benkelman eram menores em cerca de 34% em comparação com as deflexões médias obtidas pelo LWD. O autor conseguiu encontrar correlações bastante fortes em três dos cinco trechos avaliados, sendo a mais significativa com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,90.

Beninca e Santos (2021), ao investigarem a utilização dos dois equipamentos, identificaram correlações válidas nos dados defletoométricos em dois dos treze trechos analisados ao longo de mais de 4 km de via e cerca de 80 pontos de análise. O coeficiente de determinação do modelo mais significativo foi de 0,79. De modo geral, as deflexões medidas pelo LWD superaram aquelas medidas pela viga Benkelman.

Nery e Santos (2022) avaliaram seis segmentos de uma via com 9,4 km de extensão, localizados em vias urbanas e rurais, todos pavimentados com revestimento asfáltico e com estruturas de espessuras iguais, mas diferentes materiais de reforço do subleito. Os dados obtidos pelo LWD indicaram deflexões médias

maiores em comparação com as deflexões médias obtidas pela viga Benkelman. No entanto, não foram encontradas correlações válidas em nenhum dos trechos estudados, sendo o maior coeficiente de determinação igual a 0,12.

Martello e Garcez (2022) realizaram um estudo em vias pavimentadas com CCR, concreto asfáltico e solo argiloso. Foram utilizados dois equipamentos de LWD diferentes, comparando-os com uma viga Benkelman. Os valores da deflexão não seguiram um padrão consistente, comportamento também registrado no contexto dessa pesquisa, às vezes sendo maiores em um equipamento e outras vezes maiores em outro. O estudo não estabeleceu modelos de regressão, pois não foram encontradas relações significativas entre os dados defletoométricos devido à grande variabilidade nas leituras.

É relevante destacar que os autores citados anteriormente conseguiram identificar e mensurar as estruturas que estavam sendo avaliadas, obtendo informações sobre as espessuras e a idade dos pavimentos, bem como as características das camadas sobre as quais foram executados, ademais a incidência de manifestações patológicas.

Análise estatística

Magalhães e Lima (2002) conceituam a estatística como um conjunto de técnicas que habilita a organização, descrição, análise e interpretação de dados derivados de estudos experimentais em diversas áreas do conhecimento. A Estatística Descritiva, como subdisciplina, é empregada na análise desses dados.

A Estatística Descritiva, também reconhecida como Análise Exploratória de Dados, abrange a síntese e ordenamento de informações, visando a sua interpretação e a detecção de regularidades ou padrões nas observações. Permite, além do já exposto, identificar se os dados aderem a um modelo conhecido, viabilizando a investigação do fenômeno em análise, ou se uma nova

modelagem se faz necessária (Reis; Lino, 2023).

Neste contexto, emerge a análise de regressão, que tem como objetivo examinar a existência de uma relação significativa de dependência entre duas ou mais variáveis, fundamentando-se tanto em representações gráficas quanto em fundamentos matemáticos (Lopes, 2003).

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

Os dados defletoométricos analisados neste estudo foram levantados em quatro vias urbanas, duas na cidade de Jaboatão dos Guararapes, no estado de Pernambuco, e duas vias na cidade de Maceió, Alagoas. Em cada cidade selecionou-se uma via pavimentada com CBUQ e outra não pavimentada, apresentando apenas leito natural carroçável. Ambos os segmentos demarcados para estudo em Pernambuco possuíam 12 pontos de leituras, já os de Alagoas possuíam 20 pontos na via em CBUQ e 16 pontos na via de leito natural conforme apresentam-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Resumo dos trechos delimitado para estudo em Jaboatão dos Guararapes, PE

Trecho	Composição	Qte. de Pontos
1	CBUQ	12
2	Leito Natural	12

Fonte: Autor (2023).

Tabela 2 – Resumo dos trechos delimitado para estudo em Maceió, AL

Trecho	Composição	Qte. de Pontos
3	CBUQ	20
4	Leito Natural	16

Fonte: Autor (2023).

Para todas as vias estudadas foram definidos espaçamentos em cerca de 2 metros entre cada ponto de aferição, alocados convenientemente sobre a trilha de roda, respeitando a distância mínima da

borda do revestimento, conforme indicado na norma DNIT 133/2010.

Ressalta-se que as vias pavimentadas com CBUQ, não tiveram as espessuras de suas camadas estruturantes levantadas em campo, entretanto, a partir de análise visual, apresentava boas condições superficiais. Já as vias que possuíam o revestimento composto por solo natural, além de não identificadas as camadas estruturantes, o Índice de Suporte Califórnia (ISC) e o grau de compactação também não foram levantados.

Estudos de campo: Ensaio de viga Benkelman e LWD

A realização das atividades de campo em Jaboatão dos Guararapes/PE aconteceu em 31 de janeiro de 2023, em um dia sem incidência de chuvas, com o tempo ensolarado e temperatura média de 27 °C.

Já os ensaios em Maceió/AL foram realizados no dia 01 de fevereiro de 2023, sob um tempo chuvoso com temperatura média de 26 °C.

Realizado de forma simultânea, as leituras do LWD e VB em cada ensaio foram realizadas lado a lado, alinhados a um mesmo ponto, posicionando o aparelho de LWD ao lado do eixo traseiro de rodas duplas utilizado como carga de prova da viga Benkelman, com distância entre um e outro variável, mas não superior a 1,00 metro. Dessa forma, tentou-se verificar áreas que compartilham características estruturais mais semelhantes possíveis, conforme mostrado nas Figuras 5 e 6. Todavia, tal procedimento de ensaio, não se apresenta normatizado nas literaturas técnicas.

Figura 5 – Realização dos ensaios de LWD e VB lado a lado



Fonte: Autor (2023).

Figura 6 – Realização dos ensaios de LWD e VB



Fonte: Autor (2023).

O levantamento de dados deflectométricos com a viga Benkelman foi regido de acordo com a norma DNIT 133/2010. O equipamento possuía relação 2/1 (constante da viga, de acordo com o tamanho dos seus braços, ver Figura 2 e Equação 1), a carga de prova empregada foi o caminhão com eixo traseiro de rodas

duplas possuindo 8,2 tf e o ensaio se deu obedecendo a seguinte ordem:

- Foi posicionada ponta de prova da VB entre os pneus de uma das rodas do eixo traseiro do caminhão, alinhando-a sob o seu eixo;
- Foi aferida e registrada a leitura inicial (L_i) no extensômetro;
- O caminhão foi afastado lentamente para uma distância superior a 5 metros da ponta de prova, e foi aguardado alguns minutos para que a estrutura retornasse ao seu estado original;
- Foi aferida e registrada a leitura final (L_f) no extensômetro;
- Os dados aferidos foram inseridos na Equação 1, apresentada anteriormente, e com auxílio de uma planilha eletrônica (MS Excel) foi calculada a deflexão do ponto ensaiado.

Para as leituras de deflexão a partir do LWD foi usado um equipamento da marca Zorn Instruments, referência ZFG 3000, que possui peso de impacto de 10 kg e placa com 300mm de dimensão.

O ensaio foi realizado de acordo com as recomendações da norma americana ASTM E2835-21, seguindo a seguinte ordem:

- O LWD foi posicionado no ponto de análise com superfície limpa (Sem vegetação ou material solto);
- O leitor digital é ligado e o peso móvel é posicionado no topo do equipamento;
- O peso móvel é liberado pelo operador do ensaio por 3 vezes, registrando 3 medidas no leitor digital do equipamento;
- A deflexão final é calculada automaticamente por média aritmética dos dados aferidos a partir dos 3 impactos sobre o ponto, e exibida pelo leitor digital do equipamento.

Análise estatística

Buscou-se estabelecer uma equação que pudesse descrever a interdependência entre duas grandezas e avaliar a validade desse modelo.

Com o propósito de simplificar a avaliação estatística das medidas de deflexão, procedeu-se ao cálculo dos valores médios ($D_{méd}$), máximos ($D_{máx}$) e mínimos (D_{min}), bem como do desvio padrão (DP).

Neste estudo, foram obtidos, com auxílio do MS Excel, os modelos de regressão simples, linear e não linear, conforme a seguir:

$$\text{Linear: } Y = \alpha X + \beta \quad (2)$$

$$\text{Exponencial: } Y = \alpha e^{\beta X} \quad (3)$$

$$\text{Potencial: } Y = \alpha X^{\beta} \quad (4)$$

$$\text{Log.: } Y = \alpha \ln \ln(X) + \beta \quad (5)$$

em que Y : valor a ser estimado (variável dependente);

X : variável independente;

α, β : coeficientes da equação.

O valor dependente (Y) será representado pela deflexão medida com o LWD e o independente (X) pela deflexão medida na VB.

Uma vez obtido o modelo de regressão, será possível gerar o coeficiente de determinação (R^2), que irá representar percentualmente o quanto de dados de uma variável dependente podem ser explicados a partir da variável independente, ou seja quantas leituras feitas com o LWD podem ser explicadas por leituras feitas com viga Benkelman.

O valor de R^2 pode variar de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, mais o modelo de regressão possui uma curva que se ajusta bem aos dados, sendo esse o fator que determinará qual o melhor modelo dentre o linear e os não lineares.

Caso vez que haja uma regressão linear como modelo mais significativo de acordo com o seu coeficiente de correlação (R^2), é possível obter também o Coeficiente de Correlação, que indicará o quão relacionável uma medição será da outra estatisticamente, ou seja, o grau da relação entre as deflexões aferidas pela viga Benkelman e as aferidas com LWD.

O valor do coeficiente pode ser negativo ou positivo e variar de 0 a 1, de acordo com a quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Interpretação para o valor do coeficiente de correlação de Pearson (ρ)

Valor de ρ (Positivo ou negativo)	Interpretação
0,00 a 0,19	Correlação muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação fraca
0,40 a 0,69	Correlação moderada
0,70 a 0,89	Correlação forte
0,90 a 1,00	Correlação muito forte

Fonte: Autor (2023)

O valor de ρ foi calculado e obtido com auxílio do software MS Excel.

Com o objetivo de eliminar possíveis dados incorretos que possam ter sido resultado de uma coleta inadequada, foi aplicado um procedimento de tratamento para identificar as medições que sejam atípicas ou discrepantes, as quais poderiam distorcer os resultados das análises estatísticas.

Para realizar esse tratamento, foi empregado o método da Amplitude Interquartil (IQR), onde o qual é calculado por meio do MS Excel, utilizando a seguinte fórmula:

$$L = D_{méd} \pm 1,5 (Q3 - Q1) \quad (6)$$

em que L : Limites aceitáveis de deflexão;

$D_{méd}$: Deflexão média;

$Q1$: Quartil 1;

$Q3$: Quartil 3.

Caso identificados dados espúrios, que ultrapassem os limites estabelecidos, essas observações serão excluídas do conjunto de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados dos ensaios de campo

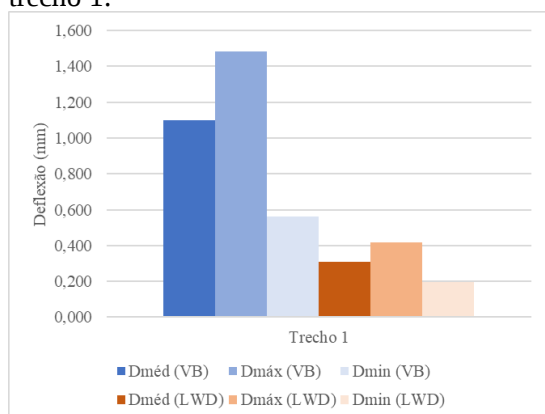
No trecho 1, conforme Tabela 3 e Figura 7, observando as leituras deflectométricas da VB, é possível notar uma dispersão moderada em torno do valor médio, desvio padrão se mantendo em cerca de 30%, com deflexões variando entre 1,482 mm e 0,561 mm e valor médio de 1,102 mm. As leituras do LWD possuíram uma dispersão também moderada em relação à média, com o desvio padrão de 0,08, possuindo valor máximo de 0,416 mm e mínimo de 0,198 mm, além de uma média de 0,310 mm.

Tabela 3 – Resumo dos dados deflectométricos do trecho 1.

Trecho 1	
Dado	Valor
Dméd (VB)	1,102
Dmáx (VB)	1,482
Dmin (VB)	0,561
Dméd (LWD)	0,310
Dmáx (LWD)	0,416
Dmin (LWD)	0,198

Fonte: Autor (2023).

Figura 7 – Gráfico de dados deflectométricos do trecho 1.



Fonte: Autor (2023).

No trecho 2, Tabela 4 e Figura 8, a deflexão média detectada a partir da viga Benkelman foi de 0,653 mm, com valor máximo de 1,042 mm, mínimo de 0,140 mm e desvio padrão foi de 0,26. Já para o ensaio com LWD foi obtida a deflexão

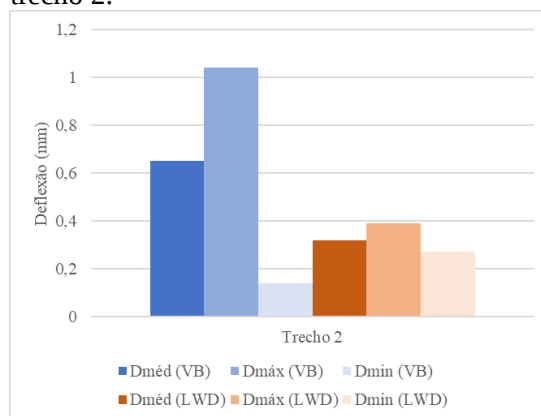
média de 0,321 mm, máxima de 0,391 mm e mínima de 0,272 mm.

Tabela 4 – Resumo dos dados deflectométricos do trecho 2.

Trecho 2	
Dado	Valor
Dméd (VB)	0,652
Dmáx (VB)	1,041
Dmin (VB)	0,140
Dméd (LWD)	0,320
Dmáx (LWD)	0,391
Dmin (LWD)	0,272

Fonte: Autor (2023).

Figura 8 – Gráfico de dados deflectométricos do trecho 2.



Fonte: Autor (2023).

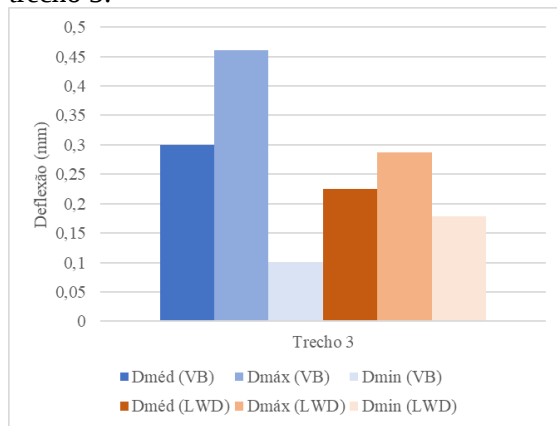
Ao ser ensaiado, o trecho 3, Tabela 5 e Figura 9) apresentou valores de deflexão menores comparados aos obtidos em Pernambuco, com uma dispersão em relação à média também menor. Para a viga Benkelman, foi vista leitura máxima de 0,461 mm e mínima de 0,100, possuindo média de 0,300 mm e desvio padrão de 0,07 mm. No LWD verificou-se valor máximo de 0,287, mínimo de 0,179, médio de 0,225 e desvio padrão de 0,03 mm.

Tabela 5 – Resumo dos dados deflectométricos do trecho 3.

Trecho 3	
Dado	Valor
Dméd (VB)	0,300
Dmáx (VB)	0,461
Dmin (VB)	0,100
Dméd (LWD)	0,225
Dmáx (LWD)	0,287
Dmin (LWD)	0,179

Fonte: Autor (2023).

Figura 9 – Gráfico de dados deflectométricos do trecho 3.



Fonte: Autor (2023).

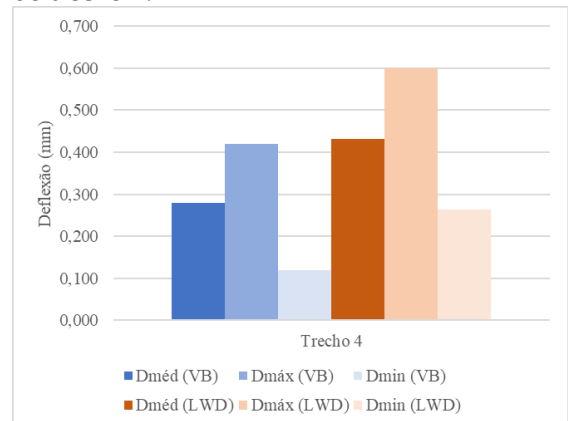
Por fim, as deflexões aferidas com a VB no trecho 4, Tabela 6 e Figura 10, apresentaram valor médio de 0,280 mm com desvio padrão de 0,09 mm, sendo o maior 0,421 mm e o menor 0,120 mm. Já no LWD temos deflexão média de 0,433, com desvio padrão de 0,09, possuindo deflexões máximas e mínimas de 0,599 mm e 0,264 respectivamente.

Tabela 6 – Resumo dos dados deflectométricos do trecho 4.

Trecho 4	
Dado	Valor
Dméd (VB)	0,280
Dmáx (VB)	0,421
Dmin (VB)	0,120
Dméd (LWD)	0,433
Dmáx (LWD)	0,599
Dmin (LWD)	0,264

Fonte: Autor (2023).

Figura 10 – Gráfico de dados deflectométricos do trecho 4.

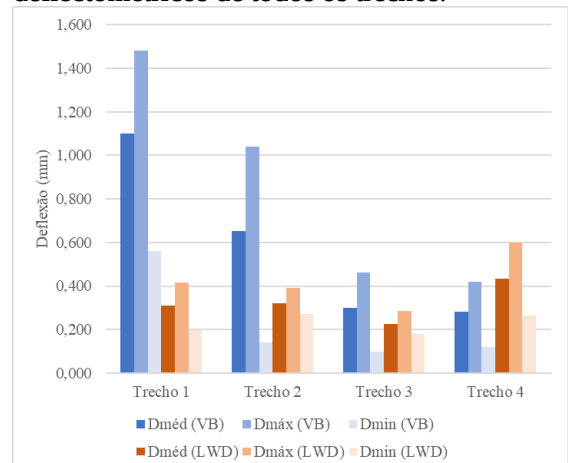


Fonte: Autor (2023).

Diante do exposto, no que diz respeito aos segmentos 1, 2 e 3, as deflexões obtidas por meio da viga Benkelman sempre se mostraram superiores. No entanto, no segmento 4, observou-se um comportamento contrário, no qual as deflexões obtidas com o equipamento LWD apresentaram valores mais elevados (Figura 10).

Em uma análise global dos achados dessa pesquisa (Figura 11), ao considerar todos os pontos de forma empírica, não foi possível identificar matematicamente, um padrão claro entre as medidas de deflexão, nem uma proporção bem definida. Todavia, na seção das conclusões, serão abordadas possíveis causas geradoras desses resultados apresentados.

Figura 11 – Gráfico resumo de dados deflectométricos de todos os trechos.



Fonte: Autor (2023).

Dados das análises estatísticas

Nos segmentos 1, 2 e 4, apresentados nas tabelas 7, 8 e 10 respectivamente, nenhum modelo de regressão foi capaz de estabelecer uma correlação satisfatória, uma vez que os coeficientes de determinação calculados permanecem abaixo de 0,1. Esses coeficientes indicam que as curvas não se ajustam adequadamente aos dados dispersos, sendo menos de 1% das leituras de LWD podendo ser explicadas por leituras feitas com viga Benkelman. Os coeficientes de Pearson observados nos modelos lineares apresentam uma correlação linear classificada como muito fraca, tão próxima de zero que se pode inferir nula.

No segmento 3 (Tabela 09) é perceptível a presença de correlações ligeiramente mais definidas, conforme indicado pelos modelos que demonstram que mais de 10% das leituras realizadas com o equipamento LWD podem ser explicadas pelas leituras obtidas com a viga Benkelman.

Todavia, dentre os modelos estudados contidos nas Tabelas 7, 8, 9, e 10, gerados no MS Excel, o que apresentou o melhor coeficiente de determinação foi o logarítmico, com um valor de R^2 de 0,16, embora não tenha se destacado significativamente em relação aos demais modelos. O coeficiente de Pearson de 0,35 evidenciou uma correlação fraca para o modelo linear.

Sendo assim, a equação observada por esse estudo que possui o maior potencial para explicar a relação entre deflexões aferidas com VB e LWD é:

$$Y = 0,0409.ln(X) + 0,2805 \quad (7)$$

Tabela 7 - Modelos de regressão e Coeficiente de determinação do trecho 1

Tipo do Modelo	Equação	R^2	ρ	Interpretação
Linear	$y = -0,0166x + 0,3286$	0,06	0,07	Correlação linear muito fraca
Exponencial	$y = 0,318e^{-0,052x}$	0,06		
Potencial	$y = 0,3004x^{-0,011}$	0,004		
Logarítmico	$y = -0,004ln(x) + 0,3105$	0,004		

Fonte: Autor (2023)

Tabela 8 - Modelos de regressão e Coeficiente de determinação do trecho 2

Tipo do Modelo	Equação	R^2	ρ	Interpretação
Linear	$y = 0,0087x + 0,3151$	0,004	0,06	Correlação linear muito fraca
Exponencial	$y = 0,3136e^{0,0237x}$	0,04		
Potencial	$y = 0,318x^{-0,003}$	0,0		
Logarítmico	$y = -3.10^5.ln(x) + 0,321$	0,0		

Fonte: Autor (2023)

Tabela 9 - Modelos de regressão e Coeficiente de determinação do trecho 3

Tipo do Modelo	Equação	R ²	ρ	Interpretação
Linear	$y = 0,1544x + 0,1832$	0,12	0,35	Correlação linear fraca
Exponencial	$y = 0,1836e^{0,7081x}$	0,11		
Potencial	$y = 0,2865x^{0,1868}$	0,15		
Logarítmico	$y = 0,0409\ln(x) + 0,2805$	0,16		

Fonte: Autor (2023)

Tabela 10 - Modelos de regressão e Coeficiente de determinação do trecho 4

Tipo do Modelo	Equação	R ²	ρ	Interpretação
Linear	$y = 0,0642x + 0,4418$	0,004	0,07	Correlação linear muito fraca
Exponencial	$y = 0,4411e^{0,0612x}$	0,004		
Potencial	$y = 0,4538x^{0,0089}$	0,003		
Logarítmico	$y = 0,0133\ln(x) + 0,4773$	0,003		

Fonte: Autor (2023)

CONCLUSÃO, RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES DE ESTUDOS FUTUROS

Esta pesquisa tentou correlacionar dados deflectométricos medidos com dois equipamentos diferentes, o Deflectômetro de peso leve (LWD) e a viga Benkelman, com o intuito de poder usar as deflexões aferidas com o LWD convertidas como parâmetro de entrada em métodos de dimensionamento de reforço de pavimento, que hoje utilizam leituras da VB em suas metodologias de projeto.

Após analisar dados levantados por ensaios realizados em quatro trechos localizados em duas cidades diferentes do Nordeste brasileiro, não foi possível estabelecer uma correlação válida entre os dois equipamentos, visto que os trechos (1, 2 e 4) estudados não apresentaram correlação e o trecho 3 apresentou correlação fraca.

Dado o cunho experimental desta pesquisa, o presente estudo de caso se propôs a analisar e observar os resultados viáveis mediante as aferições ao longo de pequenos trechos de vias urbanas. Entretanto, como apresenta-se na literatura, a ausência de informações referentes a caracterização dos materiais constituintes dos pavimentos submetidos aos ensaios, bem como a disposição das camadas estruturantes subjacentes, tampouco a

delimitação de segmentos de características homogêneas, podem ter contribuído para a

ausência de correlações válidas entre as medições de deflexões obtidas nesta pesquisa.

Ainda no contexto da sensibilidade da análise em questão, é necessário pontuar que a falta de controle do afastamento entre os equipamentos de LWD e VB durante a realização dos ensaios lado a lado, podem ter interferido ou influenciado na medição das deflexões, uma vez que o Deflectômetro de Peso Leve, poderia estar dentro da área de influência da carga apresentada pelo eixo do caminhão.

Ademais, a utilização do Deflectômetro de peso leve, sem o emprego do pistão de aço temperado, em detrimento da placa de carga convencional, como sugerido por alguns pesquisadores, pode não ter induzido uma deformação mensurável na superfície do pavimento asfáltico necessária para aferir deflexões em estruturas asfálticas.

A análise relatada neste estudo pode oferecer contribuições a estudos futuros, destacando a importância de seguir as recomendações da literatura ao se procurar discernir interdependências entre dados deflectométricos obtidos por distintos equipamentos. A esse respeito, é possível recomendar os seguintes parâmetros:

- I. Análise caso a caso, visto que os modelos de correlação carecem de generalidade;
- II. Condução dos ensaios em condições idênticas de umidade e temperatura;
- III. Amostragem representativa e abrangente;
- IV. Conhecimento das espessuras da estrutura do pavimento, uma vez que isso afeta o módulo de resiliência e pode afetar também o desempenho do equipamento LWD;
- V. Avaliação de outras características estruturais do pavimento, como composição do material, condições do subleito e ocorrência de patologias;
- VI. Investigação de pontos localizados em trechos homogêneos, isto é, que compartilham semelhanças;
- VII. Ensaios com diferentes equipamentos devem ser realizados próximos ao ponto escolhido para análise, havendo a garantia de que uma estrutura de mesma característica está sendo estudada, mas não devem ser feitos ao mesmo tempo, evitando interferências nas leituras de deflexão.

Sugere-se a realização de pesquisas que avaliem a aplicabilidade e desempenho de equipamentos de LWD em estruturas de pavimento com várias camadas, e o estudo de correlação entre deflexões medidas com LWD e VB aferidas em apenas uma camada da estrutura, de forma a avaliar a significância de avaliar de forma isolada apenas um elemento estrutural durante o processo de controle tecnológico da construção de uma via.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E2835-11**: Standard test method for measuring deflections using a portable impulse plate load test device. Pensilvânia: ASTM, 2015.
- BENINCA, Giovanni Pasquale *et al.* Avaliação estrutural de pavimentos urbanos revestidos por concreto asfáltico sobre camada de paralelepípedos a partir de ensaios deflectométricos. In CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 35., 2021. [s. l.]. **Anais [...]**. [s. l.], 2021. p 600 - 611.
- BORGES, Clarissa Beatriz Sandoval. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. 3ª ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT IPR**: Manual de Restauração de pavimentos asfálticos. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ME 133**: Pavimentação asfáltica - delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da viga Benkelman: método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.
- LOPES, Luis Felipe Dias. **Apostila de Estatística**. Santa Maria: UFMS, 2003.
- MAGALHÃES, M. N.; LIMA, A. C. P. **Noções de probabilidade e estatística**. 4. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- MARTELLO, V. G.; GARCEZ, M. G. Comparação de deflexões obtidas por meio

de equipamentos LWD e viga Benkelman. *In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRGS*, 34., 2022, Porto Alegre. **Resumos** [...]. Porto Alegre: UFRGS, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/260619>. Acesso em 10 nov. 2024.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos Pavimentos**. 1. ed. São Paulo: Editora Interciência, 2015.

NERY, C. C. Z.; SANTOS, A. G. **Comparativo entre deflexões com a viga benkelman, FWD e LWD na avaliação estrutural de uma rodovia catarinense**. ANPET, Fortaleza, v. 36, 2022.

OLIVEIRA, A.; PITTA, D.; M. TRICHÊS, G. **Avaliação do comportamento mecânico da camada de lastro de pedra pulmão empregada no lote 8 da duplicação da br-101**. RAPv, Florianópolis, 2000.

REIS, M.; LINO, M. **Introdução e Análise Exploratória de Dados**. [S. l.: s. n.], 2023.

RODRIGUES, Thays Nogueira. **Estudo comparativo do CBR “in situ” & lwd para determinação da capacidade de suporte de subleitos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

RODRIGUES, Paulo Roberto. **Medidas de deflexão em pavimentos asfálticos urbanos com o deflectômetro de peso leve**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2018.

SANTANA, Cinthia Isabelle Alves; SÁ, Renner Freire Aguiar. **Ensaio não destrutivos em pavimentos pelo método FWD: Análise estrutural comparativa entre as faixas da Av. Arthur Lima Cavalcanti, Santo Amaro, Recife, PE**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em

Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

VELLASCO, Bruno Quilici. **Análise crítica do controle construtivo de pavimentos com a viga de Benkelman: Aplicação ao caso da ampliação do Aeroporto Internacional Tom Jobim no Rio de Janeiro**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

ZORN INSTRUMENTS. **Asphalt Tester: Modified Light Weigh Deflectometer**. [S. l.: s. n.], 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço àqueles que tornaram a realização deste trabalho possível: Professor Dr. Martônio Francelino por ter aceitado fazer parte deste momento da minha trajetória acadêmica, me guiando de forma paciente, serena e bastante solícita; a engenheira Mariana Pena pela ajuda na obtenção de dados que compõem esse estudo, a minha equipe de trabalho e em especial aos engenheiros Marília Azevedo e Thalles Lopes, que estiveram presentes e dedicaram um pouco do tempo que possuíam para ajudar, desde a concepção até o desenvolvimento deste trabalho, e ao engenheiro Wanderson Freitas, que foi um grande entusiasta e incentivador desta pesquisa, estando sempre presente auxiliando, aconselhando e tirando dúvidas.

Por fim agradeço aos que pavimentaram a estrada que me trouxe até aqui, meu Pai do céu, e meus pais da terra: Márcia e Amarílio, sem eles nada seria alcançável.