

ANALYSIS OF THE LOAD TRANSFER EFFICIENCY ON A JOINTED CONCRETE PAVEMENT

Henrique Luiz de Lima Seiffert, Deividi da Silva Pereira

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM

Departamento de Transportes, Cidade Universitária – Santa Maria – RS

henriquellseiffert@gmail.com, dsp@ufsm.br

Abstract. This paper evaluated the load transfer efficiency (LTE) on a jointed concrete pavement. The falling weight deflectometer (FWD) was utilized to characterize the LTE. The results were positive, showing a range of 83 to 95% for the doweled joints and, in contrast, 56% for a cracked slab. Sections with poorer LTE were also associated with higher incidence of spalling and poor ride quality. These will be important to understand the mechanisms behind the evolution and occurrence of defects in the pavement and appropriately guide repair interventions if necessary, and they will also be used in mechanist analysis on its future performance.

Palavras-chave: Pavimentos de Concreto, Avaliação Estrutural de Pavimentos, Eficiência de Transferência de Carga.

1. INTRODUÇÃO

As juntas, segundo Balbo [1], constituem os elementos cruciais no desempenho estrutural e funcional de um pavimento de concreto. A transferência de esforços que ocorre nas juntas transversais entre placas adjacentes constitui a principal razão para essa afirmação, visto que há uma redução das tensões de tração na flexão desenvolvidas nas placas, principalmente nas proximidades das juntas [1], e, conseqüentemente, uma redução nas movimentações verticais relativas entre placas vizinhas, como pode ser visto na Fig. 1.

O intertravamento de agregados é tido como o mecanismo primário de transferência de cargas por Busch (*apud*. Ref. [1]), que demonstrou a derivação dessa do atrito e cisalhamento das faces das juntas, com maior ou menor magnitude em função dos fenômenos de contração e expansão térmica. Em estudo realizado nas condições climáticas

do sudeste brasileiro, Colim [2] demonstrou que a eficiência de transferência de carga (LTE, do inglês *load transfer efficiency*) por intertravamento variava entre 50 e 75%, com os menores valores encontrados nos períodos mais frios do ano, em função da abertura das juntas pela contração das placas.



Figura 1. Representação das respostas das placas às cargas do tráfego sem (esquerda) e com (direita) mecanismo de transferência de carga. Fonte: Ref. [2]

O mesmo estudo [2] demonstrou que a inserção de barras de transferência de carga (BT) no pavimento promovia um salto no LTE para valores no intervalo de 86 a 99% na mesma pista experimental. Essas barras de aço são comumente utilizadas em pavimentos de concreto para promover, justamente, um maior deslocamento de esforços [1]. Quando uma placa é solicitada, os deslocamentos verticais (deflexões) nela fazem com que as barras imersas respondam transferindo parte dos esforços para uma placa contígua onde as mesmas encontram-se imersas e engastadas.

Um adequado LTE, portanto, também minimizaria ou evitaria defeitos como escalonamentos, esborcinamentos e bombeamentos de finos por reduzir o movimento vertical entre placas adjacentes [1]. Estudos de casos no estado americano do Texas realizados por Chen e Lin [3]

demonstram claramente a relação entre baixo LTE e a maior incidência desses.

Propõe-se, portanto, estudar a eficiência de transferência de carga em um pavimento de concreto simples (PCS), com BT nas juntas transversais, que constitui um corredor urbano de ônibus na cidade de Santa Maria (RS). O desempenho funcional e estrutural desse é acompanhado há anos por, principalmente, registros de defeitos observados na sua superfície. Assim, os valores de LTE serão também associados com os defeitos observados nas seções estudadas. Os resultados deste trabalho poderão ser empregados em futuras análises quanto às razões para a evolução e surgimento de defeitos, e para estudos do comportamento estrutural futuro desse pavimento quando ao tráfego esperado posto as condições observadas em campo.

2. METODOLOGIA

A eficiência de transferência de carga pode ser estimada pela relação entre as deflexões (δ) em dois pontos igualmente afastados da junta e localizados tanto na placa carregada como naquela contígua a essa [1], como explícito na Eq. (1).

$$LTE (\%) = \frac{\delta_{\text{não carregada}}}{\delta_{\text{carregada}}} \times 100 \quad (1)$$

As deflexões foram obtidas com a aplicação de um pulso de carga de magnitude controlada por intermédio do equipamento *falling weight deflectometer* (FWD) nas proximidades das juntas transversais em nove pontos ao longo do corredor de ônibus. Esse equipamento mede os deslocamentos verticais por uma série de sensores (geofones) dispostos de forma característica a partir do centro da carga, que é aplicada sobre uma placa circular de aço, como explica Balbo [4].

Realizou-se duas provas de carga consecutivas em cada junta, totalizando dezoito levantamentos deflectométricos. Os deslocamentos elásticos em vários pontos (localização dos sensores) a partir de uma carga, como define Bernucci *et al.* [5],

resultam na bacia de deflexão. Apresenta-se, como exemplo, na Fig. 2 as bacias de deflexões para a primeira junta analisada (ID1).

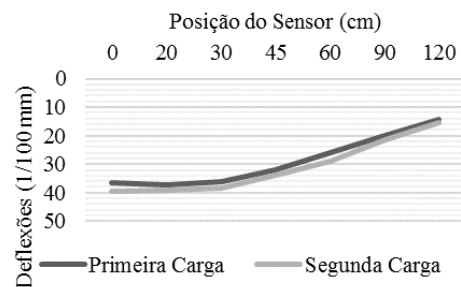


Figura 2. Exemplo das bacias de deflexões para uma das juntas

O posicionamento do FWD nas proximidades das juntas resultou na disposição do primeiro sensor apenas na placa carregada, com o segundo e os demais na placa contígua, como pode ser visto pelos primeiros pontos das curvas da Fig. 2, que são muito similares numericamente.

Com isso, contudo, impossibilitou-se comparar diretamente a deflexão em dois sensores para, a partir da Eq. 1, estimar os valores de LTE nas juntas. Necessitou-se, portanto, utilizar regressão linear para obter um segundo ponto na bacia de deflexão espaçado da junta na mesma distância do sensor “0 cm”, que é aquele localizado no eixo do carregamento. Essas regressões utilizaram-se apenas dos pontos na placa contígua e demonstraram-se bastante satisfatórias, com um coeficiente R^2 médio de 0,9908. De posse desse segundo ponto, basta apenas relacioná-lo com aquele no lado do carregamento aplicando-os na Eq. (1).

3. RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os valores encontrados de eficiência de transferência de carga para a primeira e a segunda prova de carga e, também, o valor médio desses dois valores para cada junta.

Verificou-se, primeiramente, que o LTE variou pouquíssimo entre uma prova de carga e outra em uma mesma junta, com exceção

daquela denominada ID4, que apresentou uma variação de 18% entre ensaios. Atribuiu-se esse resultado a algum erro pontual para essa junta, visto que o problema não se repetiu em nenhum outro momento e que esses outros, aliás, apresentaram uma diferença média de apenas 0,61% entre os dois carregamentos.

Tabela 1. Valores de LTE para as duas provas de carga e o valor médio

Junta	LTE (%)		LTE médio (%)
	Primeiro Carga	Segunda Carga	
ID1	89%	89%	89%
ID2	93%	92%	93%
ID3	93%	92%	93%
ID4	74%	92%	83%
ID5	95%	95%	95%
ID6	83%	83%	83%
ID7	55%	56%	56%
ID8	86%	85%	86%
ID9	89%	89%	89%

Nota-se também um grande contraste entre o LTE da ID7 e dos outros. Esse ensaio, na verdade, não foi realizado em uma junta transversal, mas em uma fissura presente em uma das placas. Os 56%, portanto, são produto apenas do intertravamento entre os agregados das faces fissuradas em uma mesma placa.

Os demais resultados, por fim, resultaram em LTE médios entre 83 e 95%, valores muito similares àqueles encontrados em pistas experimentais [2] e, portanto, coerentes com os mecanismos de transferência de carga presentes no pavimento. Ainda, esses são superiores ao limítrofe (70%) que indicaria a necessidade de intervenções para restauração do pavimento [1], indicando uma boa condição das juntas quanto ao deslocamento de esforços.

Confrontando esses resultados com defeitos levantamos previamente no corredor de ônibus por Seiffert *et al.* [5], verificou-se que entre aquelas placas que possuíam uma

das juntas com LTE entre 80 e 90%, 80% dessas apresentaram esborcinamento de juntas, que são quebras nas proximidades dessas [1], e 60% apresentavam placas bailarinas, que são, segundo o DNIT [6], movimentações verticais visíveis com o tráfego, afetando a qualidade de rolamento. Em contraste, nas placas com juntas com LTE entre 90 e 100%, apenas 67% dessas apresentavam esborcinamentos e nenhuma apresentou placa bailarina.

Esses resultados demonstraram-se condizentes com a literatura [1] e a prática [3], demonstrando que há uma maior ocorrência de alguns defeitos nos trechos em que há menor LTE. Permite-se, portanto, um melhor entendimento dos mecanismos que estão por trás da evolução e surgimento desses. Ainda, futuros levantamentos de defeitos possuirão dados importantes para interpretar os seus resultados e adequadamente fundamentar qualquer intervenção para reparo, caso torne-se necessária.

Analisou-se, ainda, o efeito da variação do LTE entre os dois extremos observados nas juntas transversais (83 e 95%) nas máximas tensões de tração na flexão desenvolvidas no pavimento. Aplicando as propriedades geométricas das placas e parâmetros estruturais coerentes com o sistema formado pela placa e sua fundação no programa de elementos finitos EverFE, carregou-se o pavimento com o eixo padrão, como definido em Ref. [4], em dois pontos: no centro da placa central próximo a uma das juntas longitudinais e, após, nas proximidades de uma junta transversal e ainda próximo a junta longitudinal (Fig. 3).

No primeiro caso, com o carregamento no centro da placa do meio do sistema, a diferença entre as máximas tensões foi praticamente nula. Deslocando o carregamento para as vizinhas da junta transversal, verificou-se um acréscimo de 5,17% na máxima tensão desenvolvida ao reduzir o LTE de 95% para 83%. Ao reduzir para 70%, por sua vez, observou-se um acréscimo de 9,16% em relação àquela calculada para 95%. Essas diferenças tornam-

se ainda mais significativas ao considerar que haverá dezenas de milhares de ciclos de carregamento ao longo da vida útil de um pavimento e o seu impacto no esgotamento da resistência à fadiga do concreto.

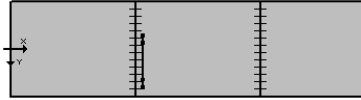


Figura 3. Ilustração da segunda configuração de carregamento para análise das máximas tensões desenvolvidas.

Esses resultados, por fim, demonstram a importância de conhecer as condições reais de transferência de carga e de considerá-las como são verificadas em campo em diferentes trechos ao analisar estruturalmente o desempenho atual e futuro de um pavimento de concreto.

4. CONCLUSÕES

Estimou-se a eficiência de transferência de carga em uma série de pontos em um pavimento de concreto simples a partir de levantamentos deflectométricos. Verificou-se que o LTE nas juntas transversais com presença de BT variava entre 83 e 95%, valores considerados positivos e compatíveis com os mecanismos presentes no pavimento. Nas fissuras transversais, verificou-se que o LTE era de apenas 56%, por ser função apenas do intertravamento de agregados.

Esses resultados foram cruzados com os defeitos observados na superfície das placas e verificou-se que houve uma maior ocorrência de esborcinamentos e placas bailarinas naquelas cujas juntas apresentavam menores valores de LTE, como esperado pela influência desse parâmetro no mecanismo de evolução e surgimento desses defeitos

Ainda, procurou-se demonstrar, simplificada, o efeito de menores valores de LTE nas máximas tensões de tração na flexão desenvolvidas nas placas. Estimou-se uma diferença de 5,17% ao reduzi-lo para 83% de 95%.

Considerar as verdadeiras grandezas da eficiência de transferência de carga, portanto, mostra-se fundamental ao avaliar funcional e estruturalmente pavimentos de concreto, pois permite compreender, em conjunto com outras informações, os mecanismos influenciando o surgimento e evolução de defeitos, e também possibilita estudar mais precisamente o desempenho estrutural futuro de um pavimento de concreto aplicando, junto a outros dados, as condições reais observadas em campo nas juntas.

REFERÊNCIAS

- [1] J. T. Balbo, Pavimentos de concreto, Oficina de Textos, São Paulo: 2009.
- [2] G. M. Colim, “Estudo dos fatores que afetam a transferência de carga em juntas de pavimentos de concreto simples”, Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- [3] D. Chen and H. Lin, “Effects of base support and load transfer efficiency (LTE) on Portland concrete pavement performance”, Journal of Testing and Evaluation, Vol. 38, no 1. 2010, pp. 1-10.
- [4] J. T. Balbo, Pavimentação asfáltica – materiais, projeto e restauração, Oficina de Textos, São Paulo: 2007.
- [5] B. L. Bernucci et al., Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros, Petrobras, Rio de Janeiro: 2006.
- [6] H. L. L. Seiffert, D. S. Pereira et al., “Avaliação de desempenho das placas de concreto do corredor de ônibus de Santa Maria” in Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto, 2014.
- [7] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Norma DNIT 061/2004 - TER: pavimento rígido – defeitos – terminologia, Norma Rodoviária, Rio de Janeiro, 2004.