

TRANSFERÊNCIA DE CARGA EM JUNTAS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO: AVALIAÇÃO DE SUA EFICIÊNCIA EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

Glenda Maria Colim

José Tadeu Balbo

Universidade de São Paulo

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

RESUMO

A transferência de carga em juntas transversais de placas de pavimentos de concreto é um importante fator no desempenho do pavimento de concreto quando submetido ao tráfego e a cargas ambientais. Nesse trabalho, a eficiência de transferência de carga (LTE, do inglês, *Load transfer efficiency*) foi analisada utilizando medidas de deflexões na pista experimental da FAPESP/EPUSP com *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Os testes foram realizados em períodos de inverno e verão em São Paulo, durante a manhã e a tarde, permitindo verificar o efeito de alterações nas temperaturas das placas de concreto em termos da LTE. Analisou-se também a influência de diferentes bases (granular e cimentada) e a presença ou não de barras de transferência (BT) nas juntas transversais. O efeito da temperatura sobre a LTE mostrou-se um fator importante na avaliação das respostas mecânicas de um pavimento de concreto, variando de acordo com o tipo de estrutura considerada e seu sistema de juntas.

Palavra-Chave: pavimentos de concreto, juntas, transferência de carga.

ABSTRACT

Load transfer on transversal joints in concrete slabs is a key factor for the pavement performance due to its particular response to traffic and environmental loads. In order to analyze this issue in tropical climate regime, deflections measurements were accomplished using FWD over the experimental slabs of the experimental concrete pavement within the University of São Paulo campus. Tests were performed in different winter and summer periods verifying changes in LTE behavior due to morning and afternoon concrete temperatures, presence of granular and cement bases, in dowelled or not dowelled transversal joints. Results showed important influence of daily temperatures on joint behavior especially on the case of non dowelled joints.

Keywords: concrete pavements, joints, load transfer.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

Os trabalhos de investigação de efeitos de cargas e temperaturas na pista experimental FAPESP/EPUSP, nessa fase atual, visam comparar a eficiência de transferência de carga nas juntas de pavimentos de concreto de cimento Portland (CCP) em diferentes estações climáticas, tendo-se em conta a existência ou não de barras de transferência de cargas bem como outros fatores de menor significância como os tipos de base, espessuras e comprimentos de placas, bem como o período do dia (manhã ou tarde) refletindo o aquecimento diário causado por temperatura e insolação, que causariam expansão do concreto.

1.2 Mecanismo de Transferência de Cargas em Juntas

A necessidade dos mecanismos de transferência de carga fica evidente diante das tensões que ocorrem devido à posição da carga em relação às juntas, conforme o esquema da Figura 1. A carga no interior da placa (posição 1) é aquela que resulta na menor solicitação enquanto que carga localizada na borda longitudinal livre (posição 3) é a que resulta em maior solicitação na placa de concreto, quando as placas possuem barras de transferência de cargas (BT) como mecanismo de transferência, dividindo o trabalho de dissipação de esforços entre duas placas contíguas. Quando não há dispositivos do tipo BT na junta, que trabalharia exclusivamente por entrosamento de agregados, a posição de carga mais crítica torna-se aquela indicada por

posição 2.

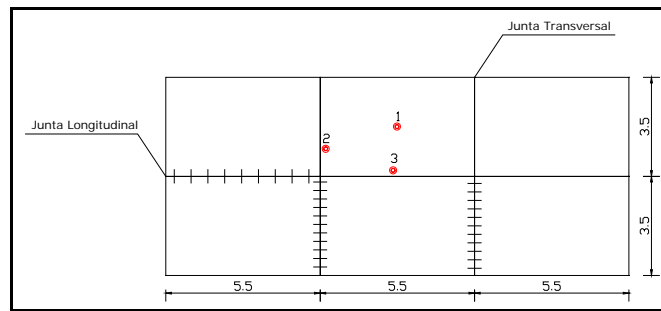


Figura 1: Posição do carregamento na placa de CCP (sem escala e dimensões admitidas).

Para fins exclusivamente ilustrativos pode-se dizer que, se o momento fletor gerado pela carga na posição 2 for igual a 1,0, essa mesma carga produzirá na posição 1 um momento igual a 0,7 e na posição 3 um momento igual a 1,4 (RODRIGUES *et al.*, 2006). Mais especificamente, para placas sem dispositivos de transferência de cargas em juntas, Balbo (1989) encontrou, por simulação numérica de diversas condições de carregamento, tensões de tração na flexão 35% superiores para cargas sobre juntas transversais em relação ao centro. Portanto, caso não sejam previstos mecanismos de transferência de carga nas juntas, de forma a garantir a resposta conjunta de placas sucessivas, o dimensionamento deveria ser efetuado pela posição de carga mais desfavorável, que nesse caso seria a posição 2. É isso o que se faz, por exemplo, quando se emprega o modelo analítico de cálculo de tensões de Westergaard (1948) ou mesmo o procedimento de projeto de pavimentos de concreto simples da *Portland Cement Association* de 1966.

Os pavimentos de concreto são geralmente concebidos de modo a garantir a continuidade nas juntas, isto é, dotando-as de mecanismos de transferência eficientes, permitindo que o dimensionamento seja feito considerando a carga crítica ocorrendo em posição remota às bordas transversais. Os mecanismos mais comuns são as barras de transferência, empregadas tanto nas juntas longitudinais de construção como nas juntas transversais em muitos pavimentos de concreto que não possuem um fluxo direcional de veículos (por exemplo, em indústrias, portos e aeroportos), em virtude de sua praticidade e eficácia na transferência de carga. Segundo Khazanovich (2007), as juntas transversais são executadas para aliviar as tensões internas no concreto causadas por retração de secagem, temperatura e gradientes de umidade na massa fresca do concreto, bem como restrições de atrito entre o concreto e a camada de base subjacente. Essas tensões podem conduzir ao surgimento de fissuras não controladas nas placas. O desempenho de muitos pavimentos de concreto com juntas não foi, historicamente, interpretado por sua capacidade estrutural, mas preferencialmente pelo seu sistema de juntas. Valores pequenos de eficiência de transferência de carga, por conduzirem à ocorrência de fissuras e a expressivo escalonamento nas juntas, levam à irregularidade e pobres condições de rolamento do pavimento de concreto após determinado tempo de serviço. Fleury e Guimarães (2006) verificaram, embora com testes estáticos de capacidade de carga em juntas em laboratório, que a presença de elementos de transferência de cargas tem como consequência a possibilidade do aumento da carga última para uma mesma espessura de placa, o que é de se considerar em projetos de pavimentos onde efeitos de repetições de cargas geradas por tráfego misto rodoviário não seja o fator mais limitante, como seriam os casos de pátios de estacionamento de aeronaves e de contêineres, para exemplificar.

Existem outros mecanismos de transferência que podem ser considerados, como o próprio entrosamento dos agregados, mas sua eficiência depende de uma abertura máxima de juntas inferior a 1 mm (ACI, 1996), limitando o comprimento da placa em poucos metros. Como se sabe, quanto menor a abertura de uma junta de retração (ou contração) garantir-se-ia maior entrosamento dos agregados pela maior proximidade entre as faces verticais fissuradas do local. Contudo, esta hipótese não foi ainda claramente avaliada, em especial no ambiente tropical. Tal interesse se justifica pelo fato de que, quando o concreto é lançado e curado, suas propriedades ficam afetadas por essa temperatura de cura média inicial, quando ocorre seu enrijecimento. Durante a vida de serviço da estrutura de pavimento, essas placas irão expandir ou contrair em função de condições climáticas e da própria resistência (fricção) imposta pela ação de seu peso próprio sobre a superfície da base. No clima temperado é possível que tal aspecto tenha uma influência apreciável, e negativa, no comportamento de placas sem BT, uma vez que, por contração térmica, a abertura das juntas aumentaria, diminuindo bastante o entrosamento dos agregados e, portanto, impondo até uma possível condição de não transferência de cargas entre placas sucessivas.

1.3 Eficiência de Transferência de Carga (LTE)

Quando a carga do tráfego é aplicada próxima à junta do pavimento de concreto, em ambas as placas, aquela com carregamento e aquela sem carregamento, ocorrem deflexões, pois parte da carga na placa carregada é transferida para a placa sucessiva, onde não há carga aplicada. Conseqüentemente, as deflexões e tensões na placa carregada podem ser apreciavelmente menores se ambas as placas dividirem a tarefa de dissipar os esforços aplicados por cargas externas (mesmo ambientais). A redução de tensões e deformações, como consequência desse mecanismo de transferência de cargas, depende do que é chamado por eficiência de transferência de carga (LTE, do inglês, *load transfer efficiency*). O valor do LTE na junta é determinado com base na relação entre a deflexão nas proximidades da junta da placa carregada e a deflexão na placa sem o carregamento, também nas proximidades da junta, conforme representadas na Figura 2 e matematicamente descritas pelas equações abaixo:

$$\delta_1 = \delta_2 \rightarrow \text{LTE} = 100\% \quad (1)$$

$$\text{LTE} = \frac{\delta_1}{\delta_2} \cdot 100\% \quad (2)$$

sendo δ_1 a máxima deflexão na junta da placa com a carga aplicada, δ_2 corresponde à deflexão na junta da placa sem carregamento e LTE o valor de eficiência de transferência de carga. Note-se, que na realidade, avalia-se uma eficiência de transferência de deslocamentos verticais nas bordas de duas placas sucessivas. Caso a junta tenha uma baixa eficiência de transferir carga, as deflexões na placa sem o carregamento são inferiores às deflexões da junta na placa carregada e os valores do LTE aproximam-se de 0%. Se a junta tiver uma boa eficiência de transferência de carga as deflexões em ambas as placas (carregada e descarregada) serão aproximadamente idênticas e os valores de LTE serão próximos a 100%.

De acordo com Poblete *et al.* (1998) uma baixa transferência de carga implica em um progressivo aumento de tensões internas e assim as fissuras nas placas iniciariam após um mais reduzido número de repetições de carga. Conseqüentemente, a transferência de carga é considerada variável pela condição do pavimento embora tal fator não seja único, tendo em vista que o pavimento depende de condições térmicas bem como a posição da carga, tanto em placas carregadas ou sem carregamento. De fato, a variação de ciclos em temperaturas médias através da espessura da placa produz encurtamentos e alongamentos longitudinais que causam

mudanças nas aberturas da juntas transversais. Em temperaturas baixas, o pavimento se comporta como placas relativamente isoladas, visto que em dias muito quentes, o pavimento se comporta com completo travamento das juntas.

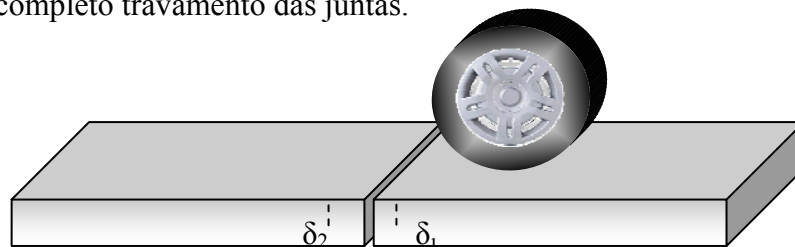


Figura 2: Deflexões em bordas de placas sucessivas na aproximação da carga externa.

2. METODOLOGIA

2.1 Descrição da Pista Experimental

A pista experimental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), financiada (exclusivamente) pela Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), teve seu início de construção em maio de 1999, tendo sido concluída em outubro do mesmo ano. Maiores detalhes sobre a construção e o concreto empregado na Pista Experimental FAPESP/EPUSP podem ser encontrados em Severi *et al.* (2000). O pavimento experimental em concreto simples na USP é composto por cinco seções de teste divididas em três placas de concreto para cada seção, conforme apresentado na Tabela 1. Na Figura 3 é apresentada uma visão da área construída no ano de 2006.

Tabela 1: Características das seções experimentais em pavimento de concreto na USP.

Seção	Placa	Comprimento (m)	Espessura da placa (mm)	Tipo de Base	Espessura da base (mm)	Barras de transferência de carga ($\phi = 32$ mm; $c = 400$ mm)
A	A1	4,00	150	BGS	200	Em ambas as juntas
	A2	5,50	150	BGS	200	
	A3	7,50	150	BGS	200	
B	B1	4,00	150	CCR	200	Em ambas as juntas
	B2	5,50	150	CCR	200	
	B3	7,50	150	CCR	200	
C	C1	4,00	250	CCR	100	Em ambas as juntas
	C2	5,50	250	CCR	100	
	C3	7,50	250	CCR	100	
D	D1	4,00	250	BGS	100	Em ambas as juntas
	D2	5,50	250	BGS	100	
	D3	7,50	250	BGS	100	
E	E1	5,50	250	BGS	100	Apenas entre as placas E1 e E2
	E2	5,50	250	BGS	100	
	E3	5,50	250	BGS	100	

2.2 Procedimentos de Avaliação em Pista

As medidas de deflexões sobre juntas nas placas de concreto foram realizadas utilizando o *Falling Weight Deflectometer* (FWD), um equipamento onde uma carga de impacto é aplicada na superfície do pavimento e geofones sensores captam, em distâncias preestabelecidas a partir do ponto de aplicação de carga, as acelerações verticais que ocorrem na superfície (onda de deslocamento), que são duplamente integradas para a determinação das deflexões sofridas no pavimento. O sistema permite a aquisição automática de deflexões recuperáveis por meio de sete sensores. Durante os testes, a placa de aplicação de carga do FWD foi posicionada

próxima da junta transversal, em sua posição mais central na borda transversal, sendo a área de aplicação de carga circular ($\phi = 300$ mm) e o primeiro sensor posicionado na própria placa de carregamento; os demais sensores estavam posicionados na outra placa (do lado oposto da junta transversal). Este procedimento de medição permite a determinação da deflexão sob a carga em uma placa, a 150 mm da junta transversal e também a deflexão do lado oposto (onde não há carga) a 150 mm da mesma junta (Figura 3). Para cada ponto de teste foram aplicadas sucessivamente três diferentes cargas de impacto (aproximadamente 47, 74 e 84 kN), com duas aplicações para cada uma delas.

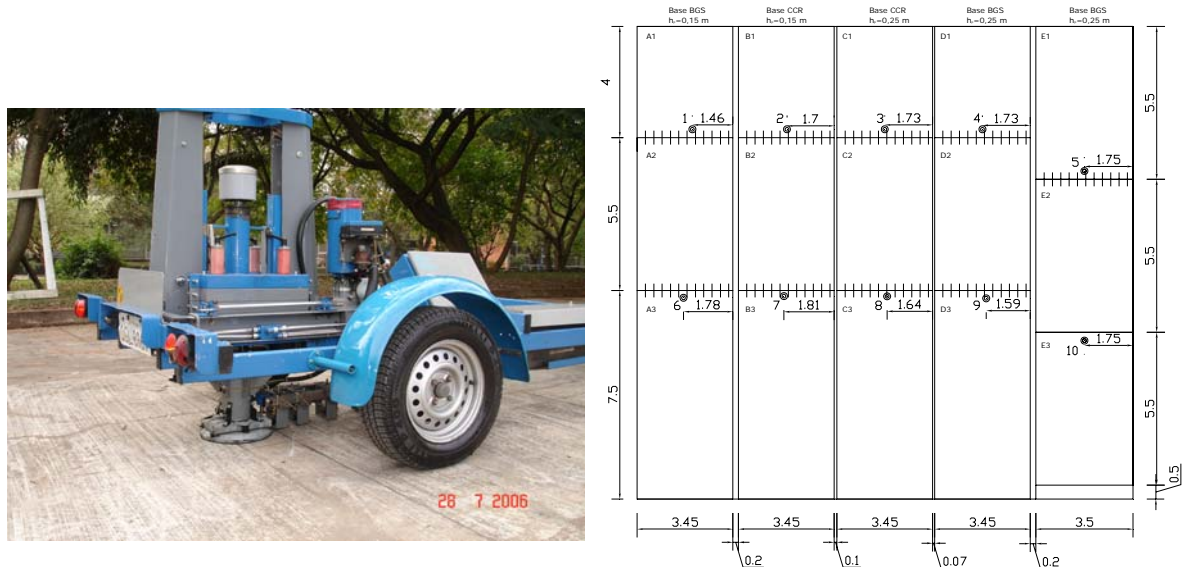


Figura 3: Posicionamento do FWD na junta transversal de uma placa e pontos de medidas sobre as placas.

Assim, com base em medidas dessa natureza é possível, conforme exposto no item 1.3, a determinação do valor LTE. Na Figura 3 é também apresentado o posicionamento de cada uma das cargas aplicadas em juntas na pista experimental. Os testes foram realizados durante o inverno de 2006 (julho) e o verão de 2007 (março) no período da manhã e tarde no inverno e durante tarde e noite no verão, sendo os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Características das seções experimentais em pavimento de concreto na USP.

Seção	Posição	Dia típico de inverno - 28/07/2006						Dia típico de verão - 26/03/2007					
		Manhã			Tarde			Tarde			Noite		
		Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)	Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)	Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)	Horário	T _{topo} (°C)	DT (°C)
A	1	9h32	20,0	3,6	13h35	27,0	7,4	12h30	25,0	0,3	19h35	25,5	0,5
	6	10h27	24,0	5,7	14h05	34,0	11,0	13h02	26,0	0,8	18h47	28,0	1,9
B	2	9h54	19,5	3,4	13h47	26,0	6,9	12h35	24,5	0,0	18h20	28,5	2,2
	7	10h36	24,0	5,7	14h09	34,0	11,0	13h12	31,0	3,5	18h52	26,5	1,1
C	3	10h02	20,0	3,7	13h50	32,0	10,1	12h42	41,0	10,2	18h30	32,0	7,8
	8	10h46	22,5	4,9	14h12	29,0	8,6	13h20	38,5	11,3	19h	28,0	5,6
D	4	10h10	23,0	5,2	13h58	34,0	11,1	12h50	43,0	13,7	18h34	32,5	8,0
	9	10h55	24,0	5,7	14h14	31,0	9,6	13h30	44,5	14,5	19h04	30,5	7,0
E	5	10h20	27,0	7,2	14h	34,0	11,1	12h56	45,0	14,8	18h42	33,0	8,3
	10	11h	25,0	6,2	14h16	35,0	11,6	13h40	46,0	15,4	19h12	30,5	7,0

Observe que nos resultados de diferenciais térmicos (DT) no verão, embora para horários semelhantes, apresentam-se muito menores para as placas da seção A e B, o que se justifica pelas baixas temperaturas de topo nelas registradas, o que é justificado pela presença de sombras sobre o pavimento naquela época e período.

3. RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

Como discorrido, as medidas de deflexões foram realizadas em dois períodos distintos de um mesmo dia em duas estações do ano opostas. Este procedimento buscava a observação e análise das alterações ocorridas nos parâmetros em estudo quando os pavimentos estão submetidos a temperaturas diferentes, tendo em vista que a temperatura diária possui uma amplitude de variação apreciável na cidade de São Paulo, conforme registrado por Balbo e Severi (2002). Os valores de LTE foram calculados conforme a Equação 2, sendo os mesmos apresentados individualmente para cada carregamento (Tabela 3). De tais valores individuais se extrai claramente que a presença de BT nas juntas transversais resulta em acréscimo expressivo no valor do LTE em comparação ao caso de juntas sem BT quando a transferência de carga se faz exclusivamente pelo intertravamento entre faces ou agregados (comparar posições quaisquer com a posição E3). Isto ressalta o fato, conforme descrito por Khazanovich (2007), de pavimentos de concreto com BT apresentarem melhor desempenho, o que se explica pelos estados de tensões mais aliviados decorrentes da presença de BT em juntas quando a carga solicita o pavimento nessa posição.

Tabela 3: Resultados gerais de LTE obtidos a partir dos testes com diferentes cargas (kN).

Posição	Placa	Inverno de 2006						Verão de 2007					
		Manhã			Tarde			Tarde			Noite		
		<i>Carga do FWD</i>			<i>Carga do FWD</i>			<i>Carga do FWD</i>			<i>Carga do FWD</i>		
		47	74	84	47	74	84	47	74	84	47	74	84
1	A1	95	96	96	93	93	93	95	94	94	93	92	92
	A1	96	95	96	93	93	92	94	94	94	93	93	92
2	B1	95	93	92	90	87	87	88	87	87	87	86	85
	B1	93	94	92	87	87	87	86	86	87	86	86	86
3	C1	94	94	94	91	89	89	95	94	94	94	94	94
	C1	94	100	94	91	90	91	93	96	93	94	94	94
4	D1	94	92	90	89	88	88	91	92	91	88	89	89
	D1	94	91	91	89	88	90	89	90	91	90	89	90
5	E1	95	94	95	92	94	92	93	93	93	97	98	97
	E1	95	94	95	92	91	93	93	93	93	97	96	97
6	A3	93	94	94	91	92	92	93	97	96	96	96	96
	A3	93	92	93	92	92	92	94	95	96	96	96	97
7	B3	100	100	100	92	90	90	87	88	88	96	96	96
	B3	100	98	98	90	89	88	87	87	87	96	96	95
8	C3	91	91	91	93	92	88	84	85	87	88	90	89
	C3	92	90	90	92	89	88	84	85	87	88	89	88
9	D3	92	91	91	91	89	90	95	94	91	89	90	89
	D3	92	91	91	91	89	90	95	95	93	91	91	90
10	E3	62	63	63	77	74	72	63	67	82	62	65	68
	E3	58	62	62	70	73	73	66	75	82	57	62	67

Um aspecto importante a ser extraído dos resultados apresentados na Tabela 3 é que existe um acréscimo para valores de LTE calculados a partir das deflexões FWD em placas sem BT em função do incremento de carga, para o verão. Já em placas com BT, não existe diferença estatística ou significativa para esses valores de LTE em diferentes níveis de carregamento, tanto o inverno quanto no verão. Isto não significa que as deflexões não se alterem com o incremento de carga. Com base em tal constatação, as análises que se seguem são realizadas a partir dos valores médios de todas as medidas para as cargas aplicadas, conforme apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores de LTE e condições das placas avaliadas.

Placa	LTE (%)				Base	Espessura (mm)	Comprimento da placa (m)	Presença de BT
	Julho/2006		Março/2007					
	Manhã	Tarde	Tarde	Noite				
A1	96	93	94	93	BGS	150	4,0	sim
B1	93	88	87	86	CCR	150	4,0	sim
C1	95	91	94	94	CCR	250	4,0	sim
D1	92	89	91	89	BGS	250	4,0	sim
E1	95	93	93	97	BGS	250	5,5	sim
A3	94	92	95	96	BGS	150	7,5	sim
B3	99	90	88	96	CCR	150	7,5	sim
C3	91	91	85	89	CCR	250	7,5	sim
D3	91	90	94	90	BGS	250	7,5	sim
E3	62	73	73	64	BGS	250	5,5	não

Em todas as juntas das placas, com exceção da junta E3 que não possui BT, a transferência de carga varia muito pouco à tarde (período mais quente). Quando não existe a BT o valor de LTE aumenta durante a tarde, conforme fica claro para a placa E3. Tais fatos estão bem elucidados na representação gráfica da Figura 4 para o inverno de 2006. Na maioria dos casos de placas com BT a LTE não varia ou pouco diminui no período da tarde e quando diminui não representam quedas que conduzam a valores inferiores a 90% em média.

Toma-se 90% como um excelente valor de LTE posto que o sistema construtivo possa apresentar deficiência de apoio na base nas proximidades da junta, por exemplo, reduzindo o LTE. Observa-se, contudo, queda apreciável no valor do LTE quando não há transferência de carga com BT, que no caso foi de cerca de 95% (com BT) para 65% (sem BT).

Contudo, há ainda uma importante transferência de carga no caso da placa E3 devida ao entrosamento na face, mesmo na ausência da BT. Além disso, a resposta das medidas é bastante coerente, pois com o aumento da temperatura de topo de cerca de 10°C (ver Tabela 2) entre a medida da manhã (11 h) para aquela da tarde (14 h), na placa E3, o LTE aumentou; isto significa que a placa teria expandido e a abertura da junta, em consequência, diminuído, o que causaria maior entrosamento entre ambas, melhorando a transferência de carga, como na prática se observou; em outras palavras, há incremento no valor do módulo em cisalhamento da interface de agregados.

Conclui-se, portanto, que durante os períodos sem insolação, quando o concreto retoma seu volume original (de construção) ou se contrai, o LTE deverá ser menor ainda que aquele valor observado para 11 h. Na Figura 5 são apresentados graficamente os valores de LTE medidos no dia de verão que resultaram em valores de LTE também elevados para juntas com BT e

reduzidos para juntas sem BT, sem alterações importantes para o verão.

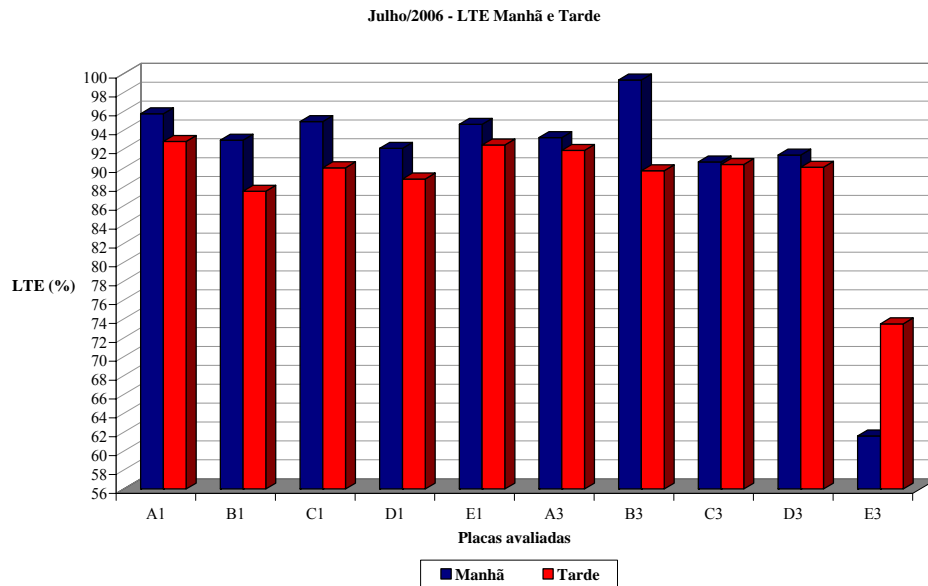


Figura 4: Transferência de carga nos períodos da manhã e da tarde, no inverno de 2006.

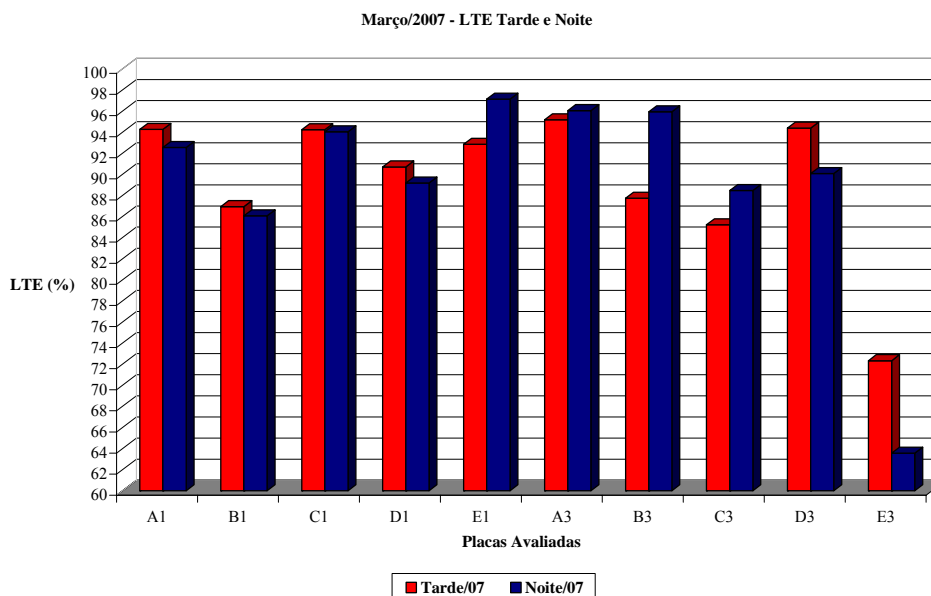


Figura 5: Transferência de carga nos períodos da tarde e da noite, no verão de 2007.

Embora seja difícil a comparação entre dados para as placas com BT uma vez que como regra geral, a transferência de carga se dá de modo satisfatório, com mais de 90%, há que se recordar que as bases representam ainda um elemento estrutural que possui reflexos nessa transferência de cargas. Note bem que, ao sofrer deformação, a base sofrerá um deslocamento vertical e que a placa sucessiva àquela onde a carga é aplicada nas proximidades da junta transversal, por exemplo, deverá também acompanhar esse deslocamento vertical sofrido no topo da base que lhe serve de apoio. Isto significa que alguma deflexão sofre a placa sucessiva sem que haja uma transferência direta de carga de uma placa para outra por meio de um

elemento como a BT.

Assim, parcela da transferência, que é medida como uma relação entre deflexões totais nas proximidades da junta, poderá ser decorrente da deformação elástica da superfície da base. Nem sempre é uma tarefa fácil, com medidas de valores de deflexão na superfície das placas, individualizar o que é contribuição de cada camada. Todavia, os resultados obtidos permitem ainda algumas especulações sobre os efeitos de transferência de cargas em situações diferenciadas quanto ao tipo de base, espessura de placa, etc., conforme se faz na seqüência.

Os resultados nesse experimento, embora possa ser discutida a precisão das medidas de deflexões bem como compará-las individualmente (margem de erro de cada medida ou média de medidas), os resultados de inverno permitem entender que em placas de concreto delgadas (150 mm) com BT a transferência de carga é ligeiramente maior quando estão sobre base de BGS; já em placas espessas com BT, a transferência de carga é maior em placas sobre base de CCR do que sobre bases em BGS, conforme se verifica na Figura 6. No primeiro caso, dada a baixa rigidez da base, o mecanismo pode ser consequência de uma maior concentração de esforços na própria placa a serem transferidos. Já no caso do CCR, a combinação de rígida camada de concreto (placa) e de base também em concreto resulta em mecanismos de transferência, medidos pela deflexão avaliada na junta da placa de concreto, ligeiramente melhores.

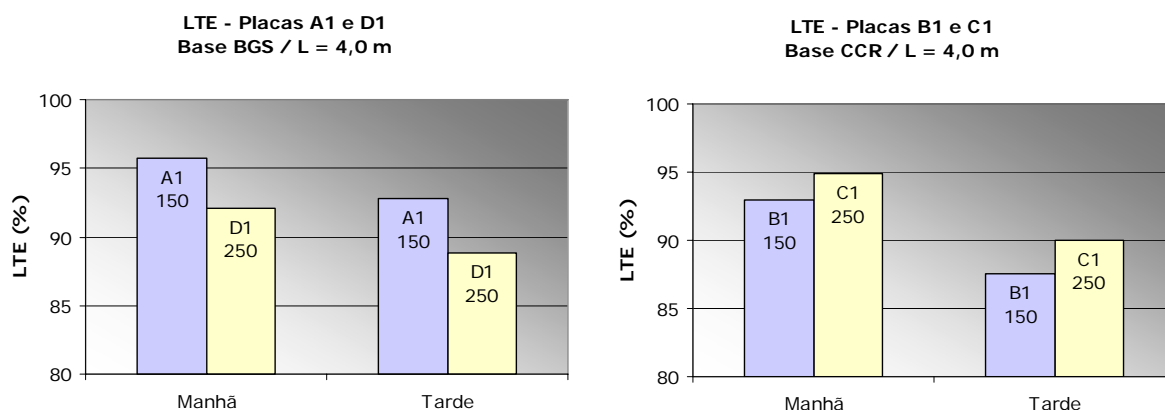


Figura 6: Transferência de carga na parte da manhã e à tarde no inverno de 2006 em placas com tipos de bases diferentes.

4. CONCLUSÕES

Este estudo trouxe melhor compreensão sobre a transferência de carga nas juntas de pavimentos de concreto e os fatores que afetam esse mecanismo. Destacam-se do mesmo as seguintes conclusões:

- O LTE é um parâmetro complexo que depende de vários fatores, incluindo a presença de barras de transferência, o tipo da base, a posição da carga (do FWD), o horário de obtenção dos dados e a estação do ano (clima);
- Em juntas sem barra de transferência há uma queda significativa do LTE em relação às que possuem BT; esse é um indicativo de pobre desempenho de pavimentos de concreto simples sem barras de transferência de cargas em juntas;

- A temperatura tem um efeito relevante no LTE. Para as mesmas juntas, o LTE medido de manhã (quando o diferencial térmico é menor) resulta inferior àquele medido na tarde em juntas sem BT;
- Uma forte correlação se evidenciou entre o LTE e a temperatura global do pavimento sem BT. Quanto maior a temperatura, maior a eficiência da junta de transferir carga; nesse aspecto.

Os resultados levam, pelo menos, a duas reflexões de ordem prática. Quando não há BT nas juntas transversais, condições de temperatura mais baixa tenderiam a piorar o desempenho dessas estruturas de pavimento, como ocorrem em regiões com climas mais amenos ou frios (temperados) e mesmo onde não há possibilidades de sensível aumento de temperaturas durante parte quente do dia no pavimento, como são os casos de túneis e de áreas industriais cobertas.

Outro aspecto importante é que, tanto pelo modelo teórico quanto com base nos valores de LTE obtidos com as deflexões FWD, raramente se atingiu LTE 100%. Os valores obtidos para placas com BT em juntas são, na realidade, muito próximos, quase sempre entre 90 e 100%, o que não permitiu diferenciar claramente os efeitos de outros elementos como a presença de bases rígidas ou flexíveis nessas estruturas. Não foi encontrada relevância nos diferentes resultados que pudessem ser explicados por outras razões que não a presença de BT nas juntas.

Como boa prática de projeto, portanto, ao se analisar tensões nessas estruturas, sendo o valor de LTE imposto em muitos dos programas de cálculo disponíveis, é fundamental que o projetista considere diferentes condições de LTE em função de variações climáticas diurnas e sazonais para que os valores de esforços e momentos calculados se aproximem tanto quanto possível da realidade. Os dados obtidos até o momento permitem estimar LTE entre 60% (diferencial térmico próximo de nulo) e 80% (diferencial térmico na hora mais quente do dia) quando não há BT nas juntas. No caso de presença de BT, valores entre 85% a 100% são esperados, em qualquer época do ano ou horário do dia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute - ACI. *Sprayed Concrete Technology*. New York. 1996.
- Balbo, J.T. *Aplicação do método dos elementos finitos na avaliação estrutural de pavimentos rígidos rodoviários*. Dissertação (mestrado), Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1989.
- Balbo, J. T.; Severi, A. A. *Thermal gradients In Concrete Pavements in Tropical Environment: an experimental appraisal*. Journal of the Transportation Research Board, TRR 1890. Washington, D.C., 2002.
- Crovetti, J. A.. *Deflection-Based Analysis Techniques for Jointed Concrete Pavements Systems*. Journal of the Transportation Research Board, TRR 1809, Washington, D.C., 1997.
- Fleury, R.H.C.G.O; Guimarães, G.N. *Estudo experimental de mecanismos de transferência de esforços em juntas de pavimento rígido*. In: Anais (Cd-rom) da 37ª. Reunião Anual de Pavimentação, Associação Brasileira de Pavimentação, Goiânia, 2006.
- Khazanovich, L. *Execução de Juntas e Transferência de Cargas em Pisos de Concreto: controvérsias e fatos reais*. (Tradução: José Tadeu Balbo) Revista Concreto, & Construções, Instituto Brasileiro do Concreto, no. 45, ISSN 1809-7197, pp.15-18, São Paulo. 2007.
- Poblete, M, Valenzuela, R.; Salsilli, R.. *Load Transfer in Undoweled Transverse Joints of PCC Pavements*. Journal of the Transportation Research Board, TRR 1207, Washington, D.C., 1998.
- Rodrigues, P. P. F., Botacini, S. M., Gasparetto, W.E. *Manual Gerdau de Pisos Industriais*. Editora PINI Ltda., 1ª edição, São Paulo, 2006.
- Portland Cement Association. *Thickness design for concrete pavements*, PCA, HB-35, Chicago, 1966.
- Severi, A. A.; Balbo, J. T.; Pereira, D. S.; Rodolfo, M. P.. *Pesquisa dos efeitos do clima sobre pavimentos de*

concreto: instrumentação da pista experimental na USP. In: Panorama Nacional da Pesquisa em Transportes 2000, XIV Congresso de Ensino e Pesquisa em Transporte, p. 533-538, Gramado, 2000.
Westergaard, H.M. *New formulas for stresses in concrete pavements of airfields.* ASCE Transactions, vol. 113, 1948.

Agradecimentos

Os autores expressam seus agradecimentos à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, financiadora da pista experimental da EPUSP, a CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de mestrado concedida à autora principal, e ao professor Doutor Lev Khazanovich – University of Minnesota - pela sua experiência compartilhada neste estudo.

Glenda Maria Colim (glenda.colim@poli.usp.br)

José Tadeu Balbo (jotbalbo@usp.br)

Laboratório de Mecânica de Pavimentos, Departamento de Engenharia de Transportes.

Escola de Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, s/n, travessa 2 – Escola Politécnica – Cidade Universitária, CEP 05508-900, SP, Brasil.