

# Inovação na pavimentação: aplicação de placas pequenas de concreto em vias urbanas

**PAULO BINA** - CONSULTOR - <https://orcid.org/0009-0005-2342-1910> - (paulo.bina@monofloor.com) ;  
**NICOLAS B. C. LOPES PESTANA** - COORDENADOR DE OBRAS - <https://orcid.org/0009-0009-8974-9061> - (nicolas.beltran@monofloor.com) ;  
**JULIANA S. BENEDICTO** - ENG. - <https://orcid.org/0009-0009-0121> - (juliana.benedicto@monofloor.com) — **Monofloor Brasil**

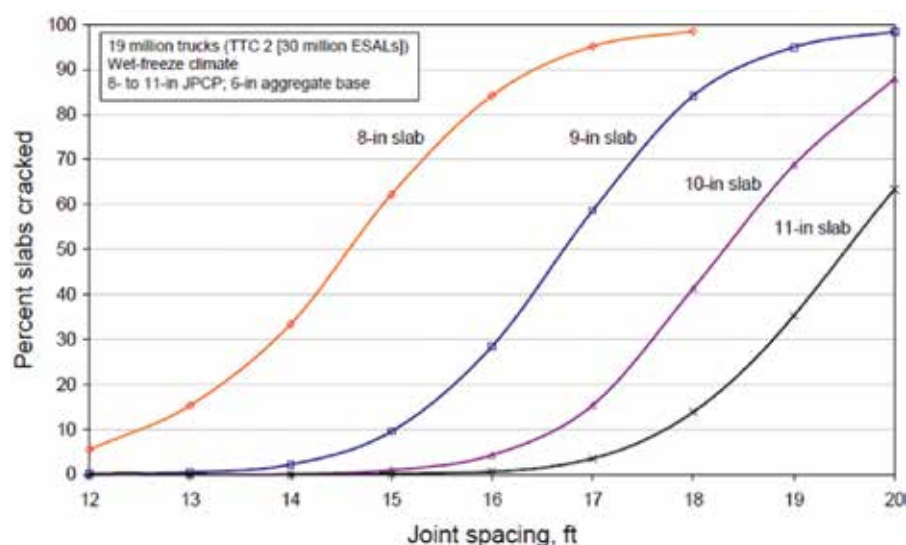
## RESUMO

**A**S DEMANDAS CRESCENTES POR PAVIMENTAÇÃO — EM OBRAS PRIVADAS, PÚBLICAS E CONCESSIONADAS — TÊM IMPULSIONADO A BUSCA POR MATERIAIS QUE PROPORCIONEM MAIOR DURABILIDADE, SEGURANÇA, FACILIDADE DE MANUTENÇÃO, REDUÇÃO DE CUSTOS E DESEMPENHO AMBIENTAL SUPERIOR EM RELAÇÃO AOS SISTEMAS TRADICIONAIS. NESSE CONTEXTO, OS PAVIMENTOS EM CONCRETO DESTACAM-SE POR SUA ROBUSTEZ ESTRUTURAL. UMA VARIAÇÃO DE CRESCENTE INTERESSE É A UTILIZAÇÃO DE GRANDES ÁREAS CONTÍNUAS MOLDA-DAS IN LOCO, SEGMENTADAS POR JUNTAS DE INDUÇÃO MAIS PRÓXIMAS, RESULTANDO EM PLACAS DE MENOR DIMENSÃO, SOLUÇÃO JÁ RECONHECIDA EM NORMAS INTERNACIONAIS. ESTE TRABALHO APRESENTA DADOS INTERNACIONAIS, DOCUMENTA TRECHOS EXECUTADOS, AVALIA SEU DESEMPENHO OPERACIONAL E APRESENTA COMPARATIVOS DE CUSTO FRENTE A SISTEMAS CON-VENCIONAIS, CONSIDERANDO O MESMO NÍVEL DE EXI-GÊNCIA TÉCNICA. O OBJETIVO É REGISTRAR FORMAL-MENTE O SISTEMA DE PLACAS PEQUENAS, ANALISANDO SEU COMPORTAMENTO E FORNECENDO BASE PARA FUTURAS PESQUISAS, APERFEIÇOAMENTOS TÉCNICOS E ESTUDOS DE VIABILIDADE.

**PALAVRAS-CHAVE:** PAVIMENTAÇÃO EM CONCRETO, PLACAS PEQUENAS, PAVIMENTAÇÃO URBANA, TCPAVEMENTS, DESEMPENHO ESTRUTURAL.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento da demanda urbana e rodoviária, aliado à necessidade de racionalização de recursos e aumento da durabilidade das infraestruturas, tem impulsionado a busca por sistemas de pavimentação mais eficientes. Nesse cenário, o TCPavements (TCP) destaca-se como uma solução consolidada por sua elevada vida útil, menor necessidade de manutenção, estabilidade



**FIGURA 1**

CORRELAÇÃO ENTRE ESPAÇAMENTO DE JUNTAS E PORCENTAGEM DE FISSURAÇÃO EM PAVIMENTOS RÍGIDOS

FONTE: NCHRP, 2004

estrutural e desempenho superior sob diferentes condições climáticas.

O TCP caracteriza-se pela utilização de placas de concreto apoiadas sobre camadas de base adequadas, com juntas estrategicamente distribuídas para controle das deformações. Por ser um pavimento rígido, apresenta menor suscetibilidade ao surgimento de trilhas de roda, reduz deformações permanentes e proporciona segurança operacional, especialmente em vias urbanas e corredores de tráfego intenso.

Dentro desse universo de pavimentação rígida, uma inovação que tem ganhado relevância é a adoção de placas pequenas

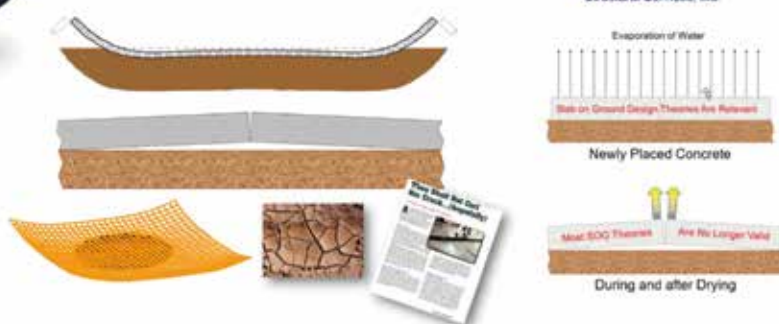
de concreto, também conhecidas como placas com menor espaçamento entre juntas. Essa configuração reduz o empenamento, melhora a distribuição de tensões e aumenta a vida útil do pavimento — aspectos que convergem diretamente com o conceito de TCP. Assim, este trabalho se insere no contexto da modernização do pavimento urbano, alinhando o desempenho estrutural ao uso racional de materiais.

Nesse sentido, pesquisadores como Juan Pablo Covarrubias, Lev Khazanovich, Jeff Roesler e Jerry Holland contribuíram significativamente para o avanço das técnicas de pavimentação rígida, desenvolvendo



**Jerry Holland, PE**

Director of Engineering Services at Structural Service Inc. (SSI)  
➤ Expert on the impact of curling in flat-work design



## FIGURA 2

### RELAÇÃO ENTRE PLACAS GRANDES X PLACAS PEQUENAS

FONTE: JERRY HOLLAND, PE, STRUCTURAL SERVICE INC. (SSI), EM MATERIAL DE APRESENTAÇÃO SOBRE EMPENAMENTO EM LAJES DE CONCRETO

modelos, softwares e métodos que embasam a aplicação de placas pequenas no TCP. Com base em resultados obtidos via software *OptiPave*, os estudos demonstram forte correlação entre a redução do espaçamento entre juntas e a diminuição de fissuras, conforme apresentado na Figura 1.

A maior eficiência das placas pequenas decorre do fato de que, com dimensões reduzidas, o pavimento passa a operar sob um regime de baixa deflexão diferencial e elevada uniformidade de resposta, minimizando as tensões induzidas por gradientes térmicos, retração e esforços provenientes do tráfego. O conceito analisado indica que placas com juntas espaçadas entre 1,2 m e 2,5 m apresentam melhor desempenho estrutural, pois a menor dimensão reduz significativamente as tensões de borda e o risco de fissuração prematura.

Nessas condições, observa-se que cada placa atua como um pequeno êmbolo transmitindo esforços de forma mais uniforme ao solo de apoio, fenômeno semelhante ao observado nos ensaios de placa utilizados para avaliação de capacidade de suporte das bases. A Figura 2 ilustra esse comportamento, evidenciando que a transmissão de carga ocorre em regime mais estável, com menores concentrações de tensões e com resposta mais uniforme da base. Além disso, devido ao tamanho reduzido, cada placa tende a receber apenas a solicitação referente a meio eixo padrão, o que diminui o momento fletor crítico e reduz as tensões de tração na fibra inferior.

Esse desempenho superior está relacionado também à mitigação dos efeitos de empenamento, que são resultantes

de diversos fenômenos atuantes sobre a pavimentação rígida, tais como:

- ▶ Retração do concreto logo após a aplicação, acabamento e exposição ao ambiente, em função das variações de temperatura e umidade;
- ▶ Retração pós-endurecimento, decorrente da perda de umidade residual no concreto já endurecido;
- ▶ Variações volumétricas da superfície, associadas à insolação e às diferenças térmicas entre o dia e a noite, bem como às oscilações sazonais (calor, chuva, seca, frio);
- ▶ Impactos térmicos ou mecânicos, como aqueles provocados por insolação intensa seguida de chuva fria, ou ainda por acidentes envolvendo incêndios.

Em placas convencionais com grandes dimensões, esses mecanismos geram gra-

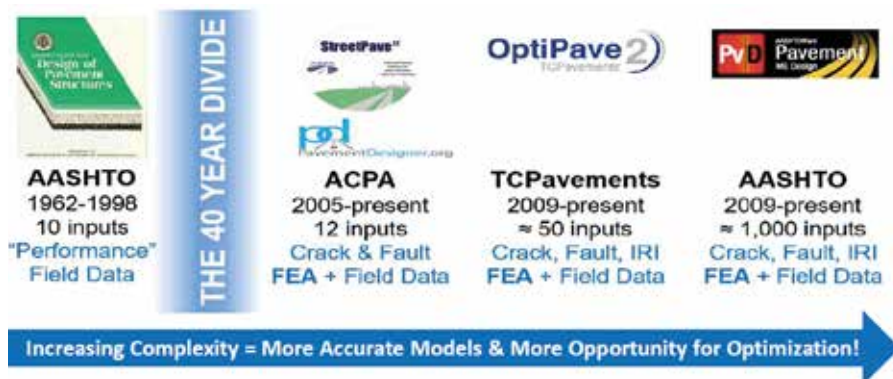
dientes térmicos consideráveis, ocasionando levantamento de bordas, fissuração e ampliação das tensões de canto. Já, nas placas pequenas, o raio de curvatura é menor e o gradiente térmico atua sobre uma área muito mais restrita, resultando em reduções expressivas das tensões térmicas e de retração, além de maior estabilidade geométrica e melhor resposta às variações climáticas.

A Figura 3 apresenta, historicamente, a evolução dos modelos computacionais de dimensionamento, desde AASHTO 1993 até metodologias mecanicistas-empíricas e a consolidação do *OptiPave*. A principal contribuição desses modelos é a capacidade de simular gradientes térmicos, distribuições de carga, comportamento das bases e interação placa-subleito com maior precisão, permitindo projetar placas pequenas com redução de espessura, sem perda de desempenho estrutural.

Em escala mundial, a aplicação desse sistema encontra-se consolidada, conforme demonstrado na Figura 4, com registros na América do Norte, Europa, Ásia e América Latina. A incorporação ao ACI 330.2R-17 (Figura 5) atesta a maturidade tecnológica do conceito, estabelecendo critérios para juntas serradas, bases drenantes, desempenho esperado e diretrizes de projeto e execução para esse tipo de pavimento.

Os benefícios observados em campo reforçam os resultados teóricos:

- ▶ Redução de fissuração longitudinal e transversal;



## FIGURA 3

### EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE DIMENSIONAMENTO SEGUNDO A COMPLEXIDADE DO PROJETO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

FONTE: ADAPTADO DE SMITH (2018, p. 42), COM BASE EM DADOS DA AASHTO



**FIGURA 4**

DISTRIBUIÇÃO MUNDIAL DOS SISTEMAS DE PAVIMENTAÇÃO DE CONCRETO COM JUNTAS DE INDUÇÃO A CURTA DISTÂNCIA

FONTE: TCP INTERNATIONAL (2022)

- ▶ Quase eliminação de falhas de bordo;
- ▶ Queda significativa de ocorrências de *pumping*;
- ▶ Melhor distribuição de tensões verticais;
- ▶ Resposta mais estável sob gradientes térmicos diários.

A convergência entre as evidências experimentais e os modelos analíticos confirma que os sistemas de placas pequenas apresentam desempenho superior quando comparados a pavimentos rígidos de placas convencionais, especialmente em ambientes urbanos com tráfego multidirecional, frenagens frequentes e condições de umidade variáveis.

## 2. MÉTODO DE CÁLCULO

O dimensionamento das placas no sistema de pavimentação rígida com juntas de indução a curta distância segue os princípios estabelecidos para pavimentos rígidos tradicionais, incorporando ajustes baseados nos avanços das metodologias mecanicistas-empíricas recomendadas a partir de 2016, com destaque para o MEPDG (AASHTO, 2016) e para os estudos específicos desenvolvidos no âmbito do sistema TCP. No entanto, quando aplicadas às placas pequenas, surgem particularidades estruturais que diferem dos pavimentos convencionais e que devem ser consideradas no processo de cálculo.

Segundo Balbo (2009), as tensões decorrentes do empenamento térmico variam intensamente com o comprimento da placa (distância entre juntas), tornando-se praticamente desprezíveis para placas com dimensões inferiores a 3 m, com valores tipicamente inferiores a 0,5 MPa. Essa redução é atribuída à baixa difusividade térmica do

concreto, que limita a transferência de calor ao longo da espessura, promovendo comportamentos opostos de expansão das fibras superiores em períodos de maior insolação e retração por perda de umidade. Balbo demonstra que, ao se reduzir as dimensões da placa, esses efeitos tendem ao equilíbrio volumétrico, mitigando significativamente problemas de levantamento de bordas.

Em estudos avançados conduzidos no Chile, utilizando sensores de deformação e modelos de simulação integrados ao *OptiPave*, Covarrubias *et al.* (2013) observaram que, até o limite correspondente à aplicação de um meio eixo padrão, não ocorre torção significativa nas bordas da placa. Essa constatação está associada à baixa deflexão diferencial e ao caráter estável das placas pequenas, o que resulta em tensões de empenamento baixas e deslocamentos mínimos entre placas adjacentes. A Figura 2 ilustra esse comportamento, evidenciando que cada placa atua como um “êmbolo rígido”, distribuindo esforços à base de forma mais uniforme, comportamento também compatível com ensaios de placa descritos em Neto (2013).

A combinação entre pequenas aberturas de juntas serradas, distâncias

reduzidas entre juntas e a presença de fibras estruturais promove o imbricamento natural dos agregados, fornecendo a transferência de carga vertical — fenômeno amplamente discutido por Rodrigues (2019) ao abordar retração compensada e estabilidade dimensional. Dessa forma, torna-se desnecessário o uso de barras de transferência na maior parte das juntas, exceto nas juntas de concretagem.

A tensão de reação da base também desempenha papel crucial. Com placas menores recebendo apenas metade da carga de um eixo padrão (como destacado por Covarrubias, Roesler e Khazanovich), ocorre um regime de suporte semelhante ao de uma placa de pressão, com distribuição quase uniforme de tensões no contato placa-base. Essa condição permite a adoção de placas mais esbeltas, sem comprometer o desempenho estrutural, alinhando-se às práticas recomendadas em pavimentos industriais e aeroportuários discutidas por Balbo (2009).

As diretrizes do ACI 330.2R-17 (2017) reforçam essa abordagem, destacando a eficiência das placas pequenas, o papel da base drenante e o uso adequado de juntas de indução serradas como elementos essenciais para o desempenho de pavimentos em concreto com tráfego pesado.

Assim, o método de cálculo aplicado às placas pequenas resulta da convergência entre:

- ▶ Os fundamentos mecanicistas clássicos;
- ▶ Os estudos de comportamento térmico e volumétrico de Balbo (2009);
- ▶ As observações experimentais e computacionais de Covarrubias *et al.* (2013) no sistema TCP;



**FIGURA 5**

CAPA DA PUBLICAÇÃO ACI 330.2R-17

FONTE: ACI COMMITTEE 330 (2017)

- Os mecanismos de retração e estabilidade volumétrica apresentados por Rodrigues (2019); e
- As diretrizes internacionais de projeto descritas no ACI 330 (2017).

Essa integração técnica possibilita a redução de espessura, o controle superior de tensões e a maior eficiência estrutural, posicionando as placas pequenas como uma solução moderna, econômica e altamente adaptada ao contexto de pavimentação urbana.

### 3. IMPACTO AMBIENTAL

A redução da espessura das placas, o menor uso de aço (substituído por fibras estruturais), a diminuição das tensões de base e a facilidade de manutenção resultam em expressiva redução de emissões de CO<sub>2</sub>. Além disso, o volume de resíduos gerados ao longo do ciclo de vida do pavimento é menor quando comparado aos sistemas rígidos tradicionais e, sobretudo, aos pavimentos asfálticos.

Benedicto *et al.* (2024), em estudo apresentado no Simpósio de Inovação e Sustentabilidade na Construção Civil, identificaram vantagens ambientais e operacionais relevantes, tais como:

- a) Menor custo de implantação e manutenção;
- b) Menor desgaste veicular e redução de consumo de combustíveis;
- c) Redução de emissões de CO<sub>2</sub> por menor demanda de materiais e menor necessidade de intervenções;
- d) Maior segurança, pela ausência de trilhas de roda e riscos de aquaplanagem;

- e) Menor formação de ilhas de calor, devido à maior refletância superficial do concreto.

### 4. CONCLUSÕES E TENDÊNCIAS

O sistema de pavimentação em concreto com placas pequenas aplicado ao TCP demonstra ser uma solução madura, eficiente e alinhada às exigências modernas de desempenho, durabilidade e sustentabilidade. A redução do espaçamento entre juntas resulta em placas mais estáveis, menor deflexão diferencial, menores tensões térmicas e maior uniformidade na transferência de cargas.

Modelagens mecanicistas, observações de campo e instrumentações confirmam que as placas pequenas atuam como elementos rígidos, com distribuição uniforme de tensões, reduzindo patologias típicas de pavimentos rígidos tradicionais, como fissuração, falhas de canto e *pumping*.

No âmbito ambiental, o sistema apresenta vantagens significativas: menor espessura, redução de aço, uso de fibras estruturais, maior durabilidade e menor necessidade de manutenção. Esses fatores implicam menor emissão de CO<sub>2</sub> e melhor conforto térmico urbano.

A experiência brasileira acumulada demonstra viabilidade técnica e econômica, desde que respeitados critérios de projeto, detalhamento de juntas e controle tecnológico adequado.

#### 4.1 TENDÊNCIAS FUTURAS

- a) A expansão do emprego de metodolo-

gias mecanicistas-empíricas integradas a modelagens tridimensionais e sistemas de monitoramento contínuo;

- b) O incremento no uso de materiais sustentáveis, como concretos de baixo carbono, adições minerais e fibras recicladas;
- c) A ampliação da aplicação de placas pequenas em corredores de transporte coletivo, vias de tráfego pesado e áreas industriais;
- d) O aperfeiçoamento geométrico das placas para adequação a pátios e áreas de geometrias complexas;
- e) O avanço de processos construtivos automatizados;
- f) O fortalecimento da análise de ciclo de vida (LCCA) e da mensuração de pegada de carbono como critérios de decisão em projetos de pavimentação.

Assim, conclui-se que o pavimento em concreto com placas pequenas constitui uma alternativa tecnicamente viável, economicamente competitiva e ambientalmente favorável para a infraestrutura urbana contemporânea. Sua adoção tende a expandir-se à medida que se intensificam as demandas por soluções duráveis, seguras e sustentáveis, sendo recomendada sua consideração em estudos de viabilidade e projetos de pavimentação, tanto no Brasil quanto no exterior.

### AGRADECIMENTOS

Aos autores aqui citados e outros não referenciados, porém com seu intenso esforço de publicação de dados e resultados de suas atividades de campo. 🙏

### ► REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ACI COMMITTEE 330. ACI 330.2R-17: Guide for the Design and Construction of Concrete Site Paving for Industrial and Trucking Facilities. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2017.
- [2] AASHTO. Guide for Design of Pavement Structures. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993/1998.
- [3] AASHTO. Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide - MEPDG. Washington, D.C.: AASHTO, 2016.
- [4] BALBO, J. T. Pavimentos de Concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- [5] BENEDICTO, J. S. *et al.* Estudo comparativo da ecoeficiência entre sistemas de dimensionamento de pavimentação urbana. In: Simpósio de Inovação e Sustentabilidade na Construção Civil, 2024.
- [6] COVARRUBIAS, J. P.; ROESLER, J.; KHAZANOVICH, L.; HOLLAND, J. Publicações técnicas e documentação do sistema TCP e software OptiPave, 2013.
- [7] NCHRP. Correlation Between Joint Spacing and Cracking in Rigid Pavements. Washington: National Cooperative Highway Research Program, 2004.
- [8] NETO, J. X. Pavimentos de Concreto para Tráfego de Máquinas Ultrapesadas. São Paulo: PINI, 2013.
- [9] RODRIGUES, P. P. F. Pisos Industriais com Concreto de Retração Compensada. São Paulo: J.J. Carol, 2019.
- [10] TCP INTERNATIONAL. Documentação técnica institucional do sistema TCP Pavements™: mapa global de aplicações e evolução anual de países (2008-2022). Santiago, Chile: TCP International, 2022.