

Análise da trafegabilidade de rodovia segundo as manifestações patológicas nas placas de concreto: estudo de caso

Analysis of highway trafficability under the pathological manifestations in the concrete plates: A case study

Bernardo Fonseca Tutikian¹

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
bftutikian@unisinos.br

Fabício Longhi Bolina¹

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
fabriciolb@unisinos.br

Bruno Fernandes¹

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
fernandes.brn@gmail.com

Hinoel Zamis Ehrenbring¹

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
hinoelzamis@hotmail.com

Augusto Masiero Gil¹

Universidade do Vale do Rio dos Sinos
augustomg@unisinos.br

Resumo. O descomedido incremento da frota nacional de veículos fomenta debates quanto à infraestrutura rodoviária, principalmente na construção, ampliação ou recuperação das estradas existentes. Nesse contexto, observa-se que a Rodovia Mário Quintana (ERS-118) apresenta alarmante estado de conservação e trafegabilidade, proveniente, principalmente, do grau de deterioração elevado das placas de concreto constituintes do pavimento. O objetivo deste trabalho foi determinar a integridade funcional dessa rodovia segundo avaliação e análise das manifestações patológicas das placas de concreto. Fundamentado no método desenvolvido pelo U.S. *Corps of Engineers* (USACE), através do índice de condição do pavimento (ICP), o trabalho foi estruturado em três partes: (a) método de avaliação das placas, (b) análise dos resultados e (c) conclu-

Abstract. The increase of the Brazilian vehicle fleet highlights the discussion about road infrastructure, especially the construction, expansion or rehabilitation of the existing roads. In this context, it is noted that the Mario Quintana highway (ERS-118) shows poor conditions of conservation and trafficability, coming mainly from the high degree of deterioration of the constituents of the concrete pavement slabs. The objective of this study was to determine the integrity of this highway, following an evaluation and analysis of pathological manifestations of concrete pavement. Based on the method developed by the U.S. *Corps of Engineers* (USACE) through the pavement condition index (PCI), the work was divided into three parts: (a) method of evaluation, (b) result analysis and (c) conclusion. The results indicate that the highway

¹ Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Itt Performance. Av. Unisinos, 950, Cristo Rei, 93022-000, São Leopoldo, RS, Brasil.

são. Os resultados obtidos indicam que a rodovia não apresenta mais funcionalidade e que sua vida útil, por conseguinte, findou-se.

Palavras-chave: patologia, pavimentos de concreto, rodovia ERS-118, Método ICP, trafegabilidade.

has no more functionality and service life, consequently, consummated.

Keywords: pathology, concrete pavement, highway ERS-118, ICP method, trafficability.

Introdução

O incremento descomedido do tráfego de veículos automotores emerge com fervor debates concernentes ao investimento em infraestrutura, tornando-se progressiva a relevância da necessidade de construção, ampliação e recuperação das rodovias nacionais. Dentre essas prevalências, as rodovias de pavimento rígido se sobressaem, devido à elevada dificuldade de manutenção e custos operacionais (Felix, 2008). No Brasil, entretanto, frente ao pequeno montante de rodovias executadas com pavimentos de concreto, pouco se fez até hoje em termos de normalização, seja para o inventário e cadastramento de defeitos, seja para estabelecer diretrizes de restauração (Balbo, 2009).

Nesse contexto, a rodovia Mário Quintana, a chamada ERS-118, apresenta níveis alarmantes de deterioração das placas de concreto constituintes do pavimento. Situada no estado brasileiro do Rio Grande do Sul, trata-se de uma estrada com inauguração datada de 1977 que, possuindo 80,2 km de extensão, liga a cidade de Sapucaia do Sul, na região metropolitana, ao litoral sul do estado. A ERS-118 é reconhecida pelas elevadas estatísticas inerentes a acidentes e mortes, provenientes, principalmente, do seu péssimo estado de conservação e trafegabilidade. Segundo o Detran (G1, 2012), é a estrada com o segundo maior número de vítimas fatais dentre as rodovias gaúchas, registrando, entre 2007 e 2011, um total de 25 mortes.

Constitutivamente, essa rodovia possui placas de concreto com 20cm de espessura. Na base, foram empregados 10cm de CCR e, na sub-base, 15cm de brita graduada. Já no subleito, foi empregada argila vermelha. Cada placa possui, em média, 3,5 x 6m de geometria. Na Figura 1, é apresentada uma seção transversal típica do projeto originalmente idealizado para a rodovia, conforme as informações coletadas junto aos engenheiros que participaram da construção.

Com o intuito de avaliar a trafegabilidade dessa rodovia, baseado na magnitude das manifestações patológicas das placas de concreto constituintes, foi realizada uma análise funcio-

nal do pavimento. O estudo sustentou-se no método proposto pelo United States Corps of Engineers (USACE), intitulado de ICP (Índice de Condição do Pavimento). Esse método estabelece, por intermédio de um índice número que varia de 0 a 100, o estado da integridade funcional do pavimento analisado e, por conseguinte, sua trafegabilidade (Felix, 2008).

Para tanto, o trabalho é apresentado em três partes: (a) Método de avaliação das placas, (b) Análise dos resultados e (c) Conclusão. No primeiro item, é descrita a fundamentação teórica do método do ICP. No segundo item, são discutidas as respostas obtidas com a aplicação do método, analisando, em paralelo, as manifestações patológicas das placas. Finalmente, no último item, presume-se o grau de comprometimento da rodovia evidenciada.

O estudo foi realizado entre os quilômetros 012+400 e 012+880 da rodovia, nos dias 20 e 27 de julho de 2013. Não foi elaborado nenhum ensaio destrutivo sobre essas placas. Todas as manifestações patológicas evidenciadas neste trabalho foram apoiadas em avaliações visuais, tal como propõe o método do ICP.

Fundamentação teórica

As vantagens da aplicação dos pavimentos de concreto são, segundo Senço (1997), a resistência ao tráfego intenso e pesado, vida útil elevada, superfície indeformável com o tráfego, maior visibilidade, quando comparada ao pavimento asfáltico, melhor aderência e custos reduzidos de manutenção. Entretanto, como qualquer outra estrutura constituída desse material, uma deficiência ou inexistência de manutenção adequada não raramente culmina em elementos com manifestações patológicas de significativa intensidade, acarretando, não raras vezes, em custos de reparo ou substituição elevados (Helene, 2007).

Para garantir o funcionamento satisfatório de um pavimento rígido, conforme destaca o DNIT (2005), é fundamental que seja permanentemente feito o controle da ocorrência de defeitos, além do acompanhamento da sua evolução no tempo, executando-se prontamente os

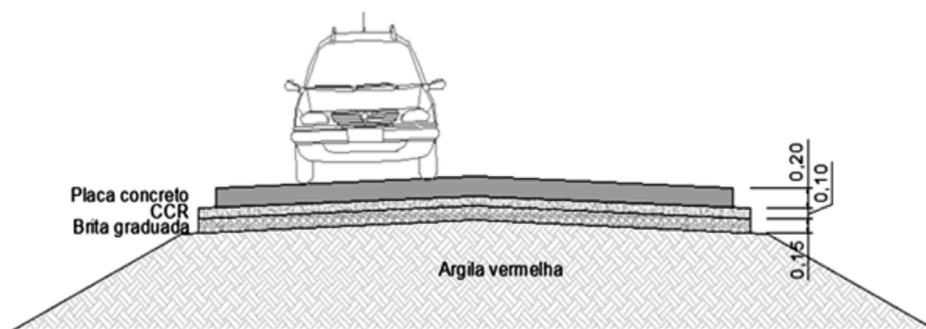


Figura 1. Seção transversal típica da rodovia ERS-118.
Figure 1. Typical section of the ERS-118 highway.

reparos que assegurem a manutenção da condição estrutural e funcional do pavimento.

Nesse contexto, o *U.S. Army Corps of Engineers* (USACE) desenvolveu, em 1982, o que Balbo (2007) categoriza como um dos índices mais consistentes para avaliação de integridade funcional dos pavimentos de concreto. Através de uma avaliação criteriosa das manifestações patológicas existentes, podem-se estabelecer graus de severidade individuais para cada tipo de anomalia e, assim, determinar o índice de condição do pavimento, o chamado ICP (Felix, 2008). Segundo o DNIT (2004a), o índice oferece ferramentas para a manutenção, prevenção e recuperação das rodovias. Por outro lado, conforme salienta ASTM E 2840:2011 (ASTM, 2011), o ICP apoia-se em análises realizadas apenas sobre a superfície do pavimento, indicando, de forma intuitiva, a integridade da estrutura e das condições de rolagem da rodovia. Segundo essa mesma norma, porém, o ICP não realiza medidas quanto à capacidade estrutural da placa.

Método de avaliação das placas

As placas foram avaliadas aplicando-se o método do ICP desenvolvido pelo USACE. Esse método é fundamentado em quatro etapas: (a) definição das seções ou trechos da rodovia a serem avaliados; (b) determinação do tipo de avaliação; (c) levantamento dos defeitos do pavimento e, finalmente, (d) cálculo do ICP.

A inspeção pode ser executada em toda a extensão do trecho admitido (universal), ou através de seções devidamente selecionadas (amostragem), as chamadas de unidades de inspeção. Admite-se que essas unidades inspecionadas (amostras) são, então, representativas do grau de integridade de toda a extensão do trecho avaliado. Como critério do método,

as amostras devem conter 20 placas cada. A equação geral para determinação do número n de amostras a serem avaliadas é dada pela equação 1, não admitindo-se n inferior a 5.

$$n = \frac{N \cdot S^2}{\frac{e^2}{4} \cdot (N-1) + S^2} \cdot (1)$$

em que N: é o número total de amostras no trecho;

n : é o número mínimo de amostras no trecho;

e : é o erro admissível na estatística;

S : é o desvio-padrão das médias individuais de ICP.

A avaliação das manifestações patológicas nas placas de concreto é baseada na inspeção visual dos defeitos, registrando, durante a inspeção, a respectiva intensidade (média, baixa ou alta) da inconformidade observada na placa. Os tipos de defeitos a serem relevados, bem como as respectivas características e intensidades admitidas, estão relacionados na Tabela 1.

O valor deduzível (VD) de cada defeito é função do nível de intensidade e da sua densidade, sendo determinado por meio de gráficos desenvolvidos pelo USACE. Já o valor deduzível total (VDT) é obtido, dentro de uma amostra, segundo o somatório dos valores deduzíveis (VD) parciais de cada defeito. Por meio desse somatório, obtêm-se o valor deduzível corrigido (VDC) para o segmento em questão, por intermédio das curvas apresentadas na Figura 2, onde q representa o número de valores deduzíveis superiores a 5. O ICP é calculado, então, conforme a equação 2.

$$\text{ICP} = 100 - \text{VDC} \quad (2)$$

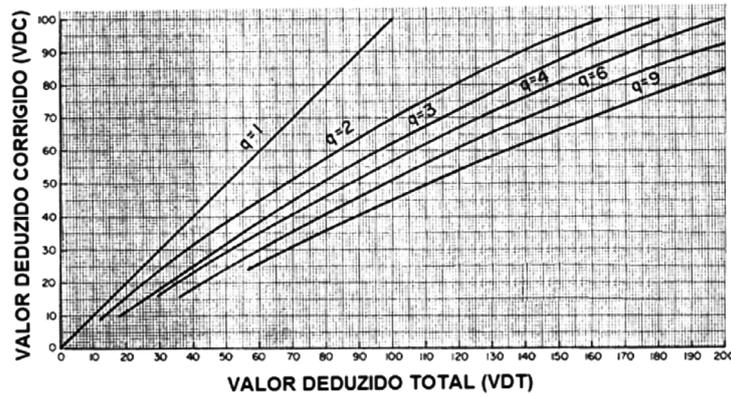


Figura 2. Curva dos valores deduzidos corrigidos (adaptado do USACE,1982).
Figure 2. Curve of the corrected net values (adapted from USACE, 1982).

Sendo ICP o índice de condição do pavimento e VDC o valor deduzível corrigido. O valor do ICP é limitado entre 0 (zero) e 100 (cem). Zero seria a condição de um pavimento completamente degradado (não funcional) e cem um trecho que apresenta perfeitas condições de rolamento (funcional).

radas, dentro desse trecho, sequencialmente, de 1 a 160 (sentido crescente da quilometragem), com a numeração iniciando na pista do lado esquerdo da rodovia. Uma ilustração típica da amostra de número 4 desse trecho é apresentada na Figura 3, bem como a convenção de numeração dos defeitos.

Análise dos resultados

Descrição dos defeitos observados

Universo da inspeção

As manifestações patológicas das placas observadas *in loco*, as quais foram admitidas no emprego do método do ICP, são discutidas a seguir.

Foi admitido um trecho representativo de 480m de extensão, do Km 012+400 ao Km 012+880. Segundo o método, cada amostra de um determinado trecho a ser inspecionado deve conter 20 placas. As amostras avaliadas terão, portanto, 60m de extensão (sendo 10 placas na faixa da direita e 10 placas na faixa da esquerda). O número total de amostras será, portanto, oito. As placas foram nume-

(a) Alçamento de placas

Essa manifestação patológica proveio de uma variação térmica acentuada na placa, que, somada ao acúmulo de material incompressível na junta, teve seu movimento de dilatação restringido (FHWA, 2003). As placas em que se

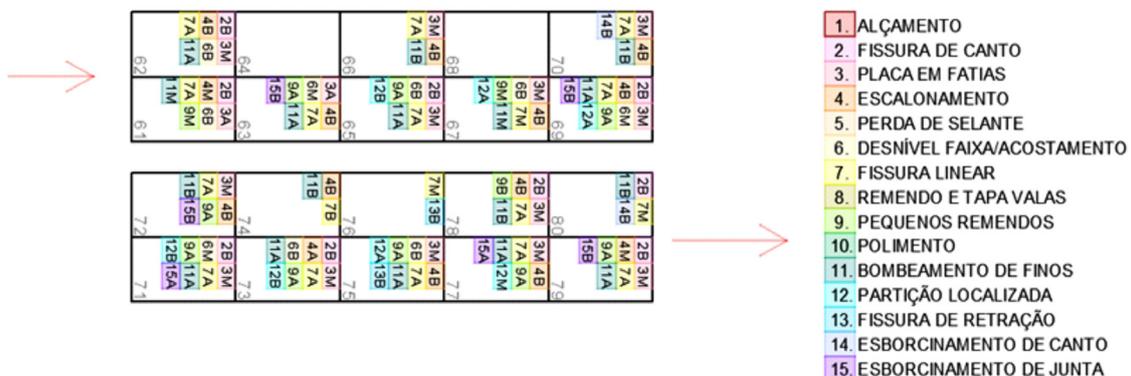


Figura 3. Detalhe das manifestações patológicas incidentes na amostra número 4.
Figure 3. Detail of the pathological manifestations incidents in sample number 4.

Tabela 1. Tipos de defeitos (manifestações patológicas) e níveis de intensidade.
Table 1. Types of defects (pathological manifestations) and intensity levels.

Defeito	Nível/ Intensidade	Descrição das condições e padrões do defeito	Contagem dos defeitos
(1) Alçamento de juntas	Baixo (B)	A identificação é muito visual. Quando o alçamento causa muito desconforto ao veículo em movimento é alto, quando não, é baixo ou médio, sem causar prejuízo ao tráfego.	Conta-se como uma placa se afeta uma placa apenas. Se afeta duas placas (na junta), conta-se como duas placas.
	Médio (M)		
	Alto (A)		
(2) Fissura de canto	Baixo (B)	Área entre fissura e junta não possui fissuras.	Conta-se como uma placa se possui um ou mais de um defeito, sem severidade. Se severidade diferentes, considera-se a maior.
	Médio (M)	Área entre fissura e junta possui até duas fissuras.	
	Alto (A)	Área possui mais de duas fissuras.	
(3) Placa em fatias	Baixo (B)	Com até 8 fissuras de baixa severidade.	Conta-se uma placa, se possui um ou mais de um defeito com a mesma severidade. Se defeitos de severidade diferentes, conta-se uma placa na maior severidade.
	Médio (M)	≤8 fiss.média, >8 fiss.baixa ou ≤5 fissuras alta severidade.	
	Alto (A)	Mais de 6 fissuras de alta severidade.	
(4) Escalonamento	Baixo (B)	Se entre 3 a 10mm.	Conta-se uma placa apenas. Se ocorre em uma fissura dentro da placa, não é contado.
	Médio (M)	Se maior que 10 e menor que 20mm.	
	Alto (A)	Se maior que 20mm.	
(5) Perda de selante	Baixo (B)	Quando há pequenas perdas, isoladas.	Não se conta, mas classifica-se em função de sua condição geral na área toda de avaliação.
	Médio (M)	Se julga necessário reselagem dentro de dois anos, no máximo.	
	Alto (A)	Necessidade imediata de reselagem.	
(6) Desnível entre placa e acostamento	Baixo (B)	De 25 a 50mm.	Conta-se uma placa com o degrau de severidade observado.
	Médio (M)	De 50 a 100mm.	
	Alto (A)	Superior a 100mm.	
(7) Fissuras Lineares	Baixo (B)	Sem escalonamento. Qualquer fissura inferior a 10mm.	Registra-se a severidade em uma placa, caso duas fissuras de média severidade estejam sobre a mesma placa, conta-se como uma placa de alta severidade.
	Médio (M)	Abertura entre 10 e 50mm. Sem selante e com abertura até 50mm com escalonamento até 25mm. Fissura preenchida de qualquer abertura e escalonamento maior 50mm.	
	Alto (A)	Não preenchida e abertura superior a 50mm. Escalonamento superior a 100mm.	
(8) Grandes reparos >0,45m ²	Baixo (B)	Remendo em boas condições.	Conta-se como uma placa com a severidade devida, desde que muitos remendos sejam de iguais severidades. Se diferentes severidades, conta-se a maior delas.
	Médio (M)	Pouca deterioração e esborcinamento moderado das bordas.	
	Alto (A)	Muita deterioração do remendo, recomenda-se a substituição.	
(9) Pequenos reparos <0,45m ²	Baixo (B)	Remendo em boas condições.	Conta-se como uma placa com a severidade devida, desde que muitos remendos sejam de iguais severidades. Se diferentes severidades, conta-se a maior delas.
	Médio (M)	Pouca deterioração e esborcinamento moderado das bordas.	
	Alto (A)	Muita deterioração do remendo, recomenda-se a substituição.	

Tabela 1. Continuação.
Table 1. Continuation.

Defeito	Nível/ Intensidade	Descrição das condições e padrões do defeito	Contagem dos defeitos
(12) Partição localizada	Baixo (B)	De 2 a 3 pedaços (fissuras de baixa ou média severidade). De 4 a 5 pedaços (fissuras de baixa severidade).	Conta-se um defeito por placa, porém, a de maior severidade encontrada.
	Médio (M)	De 2 a 3 pedaços (fissuras alta severidade). De 4 a 5 pedaços (fissuras severidade média). Maior do que 5 pedaços (caso fissuras severidade baixa).	
	Alto (A)	De 4 a 5 pedaços (severidade fissuras alta). Maior do que 5 pedaços (severidade das fissuras é média ou alta).	
(13) Fissuras de retração	Baixo (B)	Ocorrem sem a perda de materiais na superfície.	Não contabilizado.
	Médio (M)	Quando a área de perda é inferior a 15% da área da placa	Conta-se uma placa.
	Alto (A)	Quando a área de perda é superior a 15% da área da placa.	
(14) Esborcinamento de canto	Baixo (B)	Entre profundidade de 25mm e 50mm, com área < 30x30cm.	Áreas inferiores a 65cm ² não são contadas. Caso ocorram diferentes severidades, considera-se a maior.
	Médio (M)	Profundidade <50mm e área >30x30cm. Profundidade >50mm e área <30x30cm.	
	Alto (A)	Profundidade >50mm e área >30x30cm.	
(15) Esborcinamento de junta	Baixo (B)	Difícil remoção manual e pedaços de qualquer comprimento. Qualquer largura. Faltando alguns pedaços, fácil remoção e comprimento inferior a 60cm. Qualquer largura.	Se é ao longo de uma borda, conta-se uma placa. Se a placa possui duas bordas com o defeito, conta-se uma placa com o defeito mais severo.
	Médio (M)	Faltando alguns pedaços, fácil remoção dos demais e comprimento superior a 60cm. Qualquer largura. Falta quase todos os pedaços, largura menos que 10cm e comprimento maior que 60cm. Falta de quase todos os pedaços, largura maior que 10cm e comprimento menor que 60cm.	
	Alto (A)	Falta de quase todos os pedaços, largura maior que 10cm e comprimento maior que 60cm.	
(10) Desgaste superficial	Indefinido	Indefinido.	Anota-se a placa que possui o defeito.
	Indefinido	Indefinido.	
	Indefinido	Indefinido.	
(11) Bombeamento de finos	Baixo (B)	Juntas e fissuras de baixa severidade, onde observa-se junto à superfície acúmulo de finos.	Anota-se a placa que possui o defeito. No caso das juntas, anota-se as duas placas.
	Médio (M)	Juntas e fissuras de baixa e média severidade, onde observa-se junto à superfície grande acúmulo de finos.	
	Alto (A)	Juntas e fissuras de média e alta severidade, observando-se junto à superfície grande acúmulo de finos. Perda da capacidade de suporte inferior da placa (bailarina).	

verificou esse fenômeno estavam situadas próximas a um semáforo. Assim, outra justificativa plausível é o esforço horizontal excessivo exercido sobre essas placas, provenientes da frenagem de veículos pesados. Uma ilustração típica do fenômeno é ilustrada na Figura 4.

(b) *Fissura de canto*

Foi verificada a perda de material da sub-base pelo efeito do bombeamento de finos. Esse fenômeno culmina na perda da capacidade de suporte dessa camada, manifestando-se sob a forma de fissuras. Dependendo da região em que ocorrer essa erosão sub-superficial, serão propagadas fissuras junto aos cantos da placa, em um ângulo de aproximadamente 45° (FHWA, 2003). Na ocorrência dessa erosão, a placa teria um adiantamento, mas não uma eliminação, dessas fissuras, caso houvesse barras de transferência nas juntas transversais, as quais proporcionariam uma melhora na transferência de tensões para a placa vizinha. Uma ilustração típica do fenômeno é observada na Figura 5.



Figura 4. Alçamento de placas.
Figure 4. Uprising boards.



Figura 5. Fissura de canto.
Figure 5. Corner crack.

(c) *Placa em fatias*

Esse efeito geralmente é associado ao surgimento prévio de fissuras longitudinais e transversais, sendo ocasionado, geralmente, pela sobrecarga ou baixa capacidade de suporte (USACE, 1982). Após a primeira fissura, a placa terá um comportamento estrutural diferenciado, que, somado ao fenômeno do bombeamento de finos, acarretará na propagação de novas fissuras. Uma ilustração típica do fenômeno é ilustrada na Figura 6.

(d) *Escalonamento entre placas*

Esse fenômeno se caracteriza pela diferença de elevação entre as placas na região das juntas (FHWA, 2003), proveniente da ausência de barras de transferência entre as juntas transversais. Entretanto, o fator preponderante ao desencadeamento desse fenômeno foi o bombeamento de finos da camada superior do subleito, proporcionando um afundamento das placas. Ademais, o próprio empenamento térmico das placas é outra hipótese da incidência dos escalonamentos observados (USACE, 1982). Na Figura 7, é possível analisar uma ilustração desse fenômeno. Conforme se observa, há um acúmulo de finos junto à superfície da placa à direita, evidenciando que esse processo foi desencadeado devido ao bombeamento dos finos da sub-base.

(e) *Perda de selante*

Em nenhuma placa foi encontrado material selante, sequer indícios, conforme ilustra a Figura 8. A ausência de selantes permite a entrada de materiais deletérios e água nas juntas, o que pode acarretar no surgimento de outras manifestações patológicas (FHWA, 2003). Não foi possível obter informações do projeto ori-



Figura 6. Placa em fatias.
Figure 6. Plate sliced.



Figura 7. Escalonamento entre placas.
Figure 7. Scheduling between plates.



Figura 8. Perda de selante.
Figure 8. Sealant loss.

ginal quanto a tipo, ou até mesmo, quanto ao material empregado no selamento das juntas.

(f) Desnível faixa acostamento

No trecho avaliado, não foram executadas placas de concreto junto ao acostamento. Em alguns pontos, foi observada a existência de um capeamento asfáltico, que, devido à ausência de manutenção, também se deteriorou, agravando o fenômeno e expondo o material de sub-base. O material granular utilizado como sub-base é muito propenso à lavagem superficial. Nos trechos do acostamento em que fora observada a sua exposição, tornou-se, portanto, inevitável o aparecimento de degraus, devido ao transporte de finos, que é um dos motivos do surgimento da diferença de elevação entre pavimento e acostamento (Felix, 2008). Não se descarta, inclusive, a também ocorrência de uma compactação posterior dessa faixa. Na Figura 9, observa-se a deterioração da capa asfáltica aplicada naquele local,

seguido da exposição do material adotado na sub-base.

(g) Fissura linear

Fissuras lineares transversais

São fissuras perpendiculares ao eixo do pavimento (FHWA, 2003), sendo resultantes, principalmente, da tensão de tração na flexão das placas. Elas representam uma manifestação típica do consumo da resistência à fadiga do concreto constituinte, indicando o fim da vida útil desse pavimento. Os prováveis fatores do consumo de fadiga de uma placa qualquer são: (a) fck do concreto inapropriado; (b) espessura de placas inapropriadas; (c) comprimento de placas inapropriado; (d) crescimento do tráfego além do previsto no projeto; (e) falta de controle de pesagem dos veículos de grande porte ou (e) fim da vida útil do pavimento. Uma ilustração típica do fenômeno é observada na Figura 10.



Figura 9. Desnível entre faixa e acostamento.
Figure 9. Gap between strip and shoulder.



Figura 10. Fissura linear transversal.
Figure 10. Transversal linear crack.

Fissuras lineares longitudinais

São fissuras paralelas ao eixo do pavimento (FHWA, 2003). Da mesma forma, essas manifestações patológicas são indicativas do consumo da resistência à fadiga do concreto dessas placas. Entretanto, em algumas placas, observaram-se fissuras longitudinais muito próximas às juntas longitudinais, fornecendo um forte indício de corte inadequado dessas juntas em alguns pontos, outro motivo do surgimento de fissuras dessa natureza (Felix, 2008). Para as placas executadas no cruzamento de veículos, as fissuras podem ter provido da passagem dos eixos no sentido perpendicular às juntas longitudinais. Ademais, devido à desproteção da sub-base nos trechos do acostamento, evidencia-se a ocorrência de uma fuga de finos junto a esse ponto, induzindo a propagação de fissuras longitudinais também por descalço lateral da placa (bombeamento). Uma ilustração desse fenômeno é observada na Figura 11.

(h) *Grandes reparos*

Esse processo tornou-se um forte indicativo de que houve, em algum momento da vida útil da placa, uma anomalia. No trecho analisado, não foram verificados reparos com remoção e posterior reconstituição de placa nas regiões deterioradas. Em todos os casos, os reparos foram realizados através da aplicação de uma camada de material asfáltico sobre as placas degradadas. Na Figura 12, observa-se um reparo executado. O contorno de linha contínua vermelha indica os limites da placa, e o contorno amarelo de linha descontínua, os limites da capa asfáltica aplicada.



Figura 11. Fissura linear longitudinal.
Figure 11. Longitudinal linear crack.



Figura 12. Grandes reparos.
Figure 12. Major repairs.



Figura 13. Pequenos reparos.
Figure 13. Minor repairs.

(i) *Pequenos reparos*

Os pequenos reparos também são indicativos de que houve alguma anomalia na placa. Esses reparos geralmente foram aplicados em fissuras de grande abertura, preenchendo-as com material asfáltico. A Figura 13 apresenta uma ilustração típica desse processo. Observa-se nessa imagem, inclusive, o reparo já deteriorado.

(j) *Polimento*

Esse tipo de manifestação é identificada pela exposição do agregado na superfície do pavimento (FHWA, 2003), sendo típica de fenômenos que ocorrem durante a execução da obra: segregação e exsudação. Com a passagem dos primeiros eixos, produz-se a remoção dessa nata, que, com o subsequente uso da rodovia, proporcionará o polimento dos agregados. Uma ilustração típica desse processo, de baixa intensidade, encontra-se na Figura 14.



Figura 14. Polimento dos agregados.
Figure 14. Polishing of aggregates.



Figura 15. Bombeamento de finos.
Figure 15. Pumping of fine.

(k) *Bombeamento de finos*

Esse fenômeno evidencia-se através da expulsão do material da sub-base, sob a forma de lama líquida, e sua consequente deposição na superfície do pavimento, causado pelas cargas do tráfego (USACE, 1982). Observou-se o acúmulo de partículas finas de solo nas juntas, bordas e trincas das placas, o que evidencia o processo (Felix, 2008). Além de fissuras longitudinais e transversais, esse fenômeno incidiu sob a forma de recalque diferencial entre as placas. Esse mecanismo proveio de uma deficiência de selagem das juntas e de uma sub-base com baixa permeabilidade e alto teor de finos. Na Figura 15, evidencia o fenômeno, principalmente pelo acúmulo de materiais na superfície. Nota-se, ademais, um escalonamento entre placas.

(l) *Partição localizada*

A partição localizada é caracterizada pela quebra em pedaços do pavimento de concreto (USACE, 1982). Esse fenômeno inicia-se com o surgimento de fissuras transversais. Se o espaçamento destas for pequeno (menor que 1,34 m), há um comprometimento da transferência de carga, gerando fissuras longitudinais entre as fissuras transversais. Essa manifestação patológica incide também sobre a forma de “Y” (FHWA, 2003). A Figura 16 ilustra a fissuração supracitada (1), bem como a partição do concreto em pequenas partes (2). Nota-se que, em ambos os casos, há desprendimento de pequenos pedaços da placa analisada.

(m) *Fissura de retração*

Geralmente provém de concretagens realizadas em dias e horários de insolação elevadas, ou falhas nas etapas de cura do concreto. Nessa rodovia, não foram verificadas fissuras por retração plástica em níveis significativos.

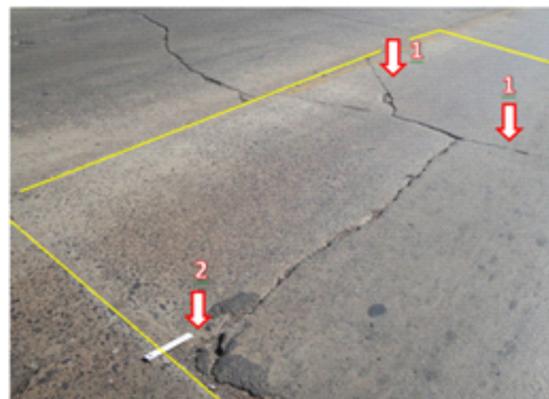


Figura 16. Partição Localizada.
Figure 16. Located partition.

(n) *Esborcimento de junta e de canto*

Esborcimentos são caracterizados por quebras nos cantos de placas ou bordas das juntas (DNIT, 2004b). Essa manifestação patológica provém de tensões excessivas provenientes do tráfego de veículos nas cavidades das juntas, combinada a uma baixa qualidade do concreto naquele local (excesso de argamassa ou ausência de agregados resistentes). Uma ilustração do fenômeno, observado junto ao canto da placa, é apresentado na Figura 17.

Análise da funcionalidade da rodovia

Conforme as manifestações patológicas diagnosticadas em campo, foram criadas planilhas de cálculo individuais para cada amostra, com o intuito de avaliar o índice de condição ICP do pavimento. Apresenta-se, na Tabela 2 o cálculo do índice referenciado para a amostra número 4. Para os demais trechos, apresenta-se na Tabela 3 uma planilha resumo contendo o VDT, o VDC e o ICP.



Figura 17. Esborcinamento de canto.

Figure 17. Corner fail.

Tabela 2. Cálculo do índice ICP para a amostra número 4.

Table 2. PCI index estimation for the sample number 4.

Tipo de defeito	Severidade	Número de placas	% das placas	Valor de dedução (DV)
2	B	9	45%	35
3	M	13	65%	64
3	A	2	10%	35
4	B	11	55%	23
4	M	2	10%	8
4	A	1	5%	10
5	A	20	100%	8
6	B	6	30%	3
6	M	3	15%	7
7	B	1	5%	3
7	M	3	15%	8
7	A	14	70%	54
9	B	1	5%	0
9	M	2	10%	2
9	A	9	45%	17
11	B	6	30%	17
11	M	2	10%	7
11	A	9	45%	24
12	B	3	15%	22
12	M	1	5%	15
12	A	3	15%	43
13	B	2	10%	0
14	B	2	10%	1
15	B	4	20%	4
15	A	2	10%	2
Valor Deduzível Total (VDT)				412
Valor Deduzível Corrigido (VDC)				Valor > 100 (indeterminado)
ICP = 100 - (VDC) = zero				rompido

Tabela 3. Planilha resumo do índice ICP dos demais trechos.**Table 3.** Spreadsheet summary of PCI index of other texts.

Amostra nº	VDT	VDC	ICP
1	313	>>100	0
2	272	>>100	0
3	328	>>100	0
5	504	>>100	0
6	516	>>100	0
7	471	>>100	0
8	407	>>100	0

Discussão dos resultados

Um dos fatores preponderantes que desencadeou grande parte das manifestações patológicas existentes na rodovia foi a incompetência drenante do material aplicado no subleito do pavimento. Tal asserção se justifica na baixa condutividade hidráulica típica de um material argiloso, podendo ser de até 0,051cm/h (Febuson e Debo *in* Georgia Stormwater Management Manual, 2001). Em períodos de intensas precipitações pluviais, ocorre uma infiltração (pelas juntas) e o respectivo acúmulo de água junto às camadas da sub-base (sob a placa). Em não havendo capacidade drenante da respetiva argila empregada, ocorrerá, portanto, a saturação dos poros desse solo do subleito. Durante a passagem dos eixos, um acúmulo de tensões hidráulicas ocorrerá nos poros saturados do material, produzindo poro-pressão.

Estando o material confinado, não haverá, portanto, espaço para propagação lateral dessas tensões. A água é então expelida para a superfície externa da placa (dentre as juntas), carregando consigo finos da argila referenciada. Esse fenômeno é conhecido como bombeamento de finos e torna esta rodovia um exemplo nacional típico do estudo desse fenômeno, e suas consequências. Como efeito, a placa foi perdendo capacidade suporte ao longo do tempo, devido à expulsão desse material da sub-base. Esse processo culminou no surgimento descomunal de fissuras e escalonamento entre placas. Essas duas últimas consequências teriam sido retardadas, mas não eliminadas, caso tivessem sido empregadas barras de transferência nas juntas transversais desses elementos.

Por intermédio de uma manutenção periódica e preventiva, o efeito poderia ter sido identificado e estancado nas idades iniciais do surgimento do fenômeno. Ademais, outros defeitos, tais como: degraus entre pista e acostamento, esborcinamentos e perda de selantes das juntas, dentre outros, poderiam ter sido prevenidos também com tal atitude preventiva. Outro provável aspecto do surgimento de fissuras nas placas de concreto foi a elevada dimensão geométrica desta (6 m de comprimento). A experiência tem demonstrado que, na região sul do Brasil, placas não armadas com comprimentos superiores a 5,5 m são, atualmente, mais propensas à fissuração, devido ao efeito térmico incidente sobre as placas.

Assim, conclui-se que os prováveis fatores contribuintes na deterioração dessa rodovia foram: (a) ausência de um efetivo sistema de drenagem; (b) emprego de material não apropriado na sub-base; (c) provável dimensão elevada das placas; (d) deficiência de manutenções periódicas e preventivas; (e) ausência do controle de carga dos veículos de grande porte.

Conclusão

Nas oito amostras avaliadas pelo método do ICP, os VDTs obtidos extrapolaram os limites contemplados pelo método. Isso demonstra que, além de encontrar-se em um estado totalmente rompido e, conseqüentemente, não funcional (ICP=0), a rodovia atingiu o fim de sua vida útil.

De fato, a validação desse índice conceitual é sustentada, na prática, pela temerária trafegabilidade dessa rodovia. Aufere-se, no local, um desconforto dos usuários que dirigem com velocidades superiores a 40km/h. A segunda concordância da conclusão obtida com o resultado desse método observado *in loco* é o elevado número de manifestações patológicas incidentes sobre as placas. Desses dois pressupostos, o índice numérico do método vem a comprovar, portanto, o que já se esperava concluir: a não funcionalidade da rodovia.

Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2011. *ASTM E2840: Standard Practice for Pavement Condition Index Surveys for Interlocking Concrete Roads and Parking Lots*. West Conshohocken, American Society for Testing and Materials, 21 p.

- BALBO, J.T. 2009. *Pavimentos de Concreto*. São Paulo, Oficina de Textos, 472 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). 2004a. *DNIT 060/2004 - PRO: Pavimento Rígido – Inspeção Visual - Procedimento*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes, 22 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). 2004b. *DNIT 061/2004 - TER: Pavimento Rígido – Defeitos - Terminologia*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes, 13 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). 2005. *DNIT IPR-714: Manual de Pavimentos Rígidos*. Rio de Janeiro, Departamento Nacional De Infra-Estrutura De Transportes, 234 p.
- UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS (USACE). 1982. *TM 5-623: Pavement Maintenance Management*. Washington, 171 p.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (FHWA). 2003. *FHWA-RD-03-031: Distress Identification Manual for the Long-Therm Pavement Performance Program*. McLean, Federal Highway Administration, 164 p.
- FELIX, D.B.C. 2008. *Avaliação da metodologia do USA-CE aplicada à análise das condições de rolamento dos pavimentos de concreto armado*. São Paulo, SP. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 360 p.
- G1. 2012. Detran mapeia no RS trechos com maior número de mortes no trânsito. Disponível em: <http://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2012/07/detran-mapeia-no-rs-trechos-com-maior-numero-de-mortes-no-transito.html>. Acesso em: 19/10/2013.
- GEORGIA STORMWATER MANAGEMENT MANUAL. 2001. *Technical Handbook*. Atlanta, Atlanta Regional Commission, vol. 2, 844 p.
- HELENE, P. 2007. *Rehabilitación y Mantenimiento das Estructuras de Concreto*. São Paulo, Paulo Helene & Fernanda Pereira, 775 p.
- SENÇO, W. de. 1997. *Manual de Técnicas de Pavimentação*. 1ª ed., São Paulo, Pini, vol. 1, 764 p.

Submetido: 09/08/2015

Aceito: 02/09/2015