

DIAGNÓSTICO TÉCNICO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS: ANÁLISE DE CASOS EM VIA URBANA E BR

Angelo, David Kawan Honorato ¹; Santana, Álef F. C. ²; Barbosa, Mariana C. S. ³; Rodrigues, Viviane D. ⁴; Santos, Tiago F. A. ⁵; Berenguer, Romildo A. ⁶

¹ Graduando, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: dkha@poli.br

² Graduando, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: afcs2@poli.br

³ Graduando, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: mcsb1@poli.br

⁴ Doutora, Universidade de Pernambuco; Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM); e-mail: viviane.drumond@ufpe.br

⁵ Doutor, Universidade de Pernambuco; Instituto Nacional de Tecnologia em União e Revestimento de Materiais (INTM); e-mail: tiago.felipe@ufpe.br

⁶ Pós-Doutor, Universidade de Pernambuco; Escola Politécnica de Pernambuco; e-mail: romildo.berenguer@upe.br

Rua Benfica, nº 455 – Madalena, Recife-PE

Resumo: O surgimento de manifestações patológicas em pavimentos rígidos pode ocorrer por variados motivos, sendo as causas mais comuns por: fadiga do pavimento, manutenção ineficiente e ineficaz, excesso de peso das cargas transportadas pelos veículos em relação à classe que a via foi projetada. Tais manifestações encurtam consideravelmente a vida útil do pavimento, como também reduz significativamente a segurança e conforto ao tráfego realizado pelos usuários. Nesta pesquisa foi realizado um estudo de caso sobre o diagnóstico num trecho do pavimento rígido em uso da Avenida Caxangá em Recife/PE e num trecho do pavimento rígido em construção na obra de duplicação da BR 101/PB, lote 05, ambos compostos por Placas de Concreto de Cimento Portland – PCCP. Os defeitos encontrados na Avenida Caxangá – Fissura de Canto, Grande Reparo, Fissura Transversal, Esborcinamento de Juntas, Fissura de Retração Plástica – foram bem diagnosticados e as sugestões dos respectivos reparos elaboradas de acordo o conteúdo Manual de recuperação de pavimentos rígidos do DNIT. No caso das fissuras de retração plástica do trecho da BR 101, a solução adotada foi a colmatação das fissuras com calda coloidal de microcimento, por injeção pressurizada com obturador à vácuo e por gravidade. E para evitar novas fissuras, em novas placas, acresceu-se a cura úmida com manta geotêxtil, além da cura química.

Palavras-chave: Intervenção, Manifestações Patológicas, Manutenção.

Abstract: The appearance of pathological manifestations on rigid sidewalks can occur for a variety of reasons, the most common causes being: sidewalk fatigue, inefficient and ineffective maintenance, excess weight of the loads carried by vehicles in relation to the class the road was designed for. Such manifestations considerably shorten the useful life of the sidewalk, as well as significantly reducing the safety and comfort of traffic for users. This research carried out a case study on the diagnosis of a section of rigid sidewalk in use on Avenida Caxangá in Recife/PE and a section of rigid sidewalk under construction on the BR 101/PB dual carriageway, lot 05, both made up of Portland Cement Concrete Slabs - PCCP. The defects found on Avenida Caxangá - Corner Fissure, Large Repair, Transverse Fissure, Joint Cracking, Plastic Retraction Fissure - were well diagnosed and the suggestions for the respective repairs were drawn up in accordance with the contents of the DNIT's Manual for the recovery of rigid sidewalks. In the case of the plastic shrinkage cracks on the stretch of BR 101, the solution adopted was to fill the cracks with colloidal microcement grout, by pressurized injection with a vacuum plug and by gravity. And to prevent new cracks in new slabs, wet curing with a geotextile blanket was added, in addition to chemical curing.

Keywords: Intervention, Pathological manifestations, Maintenance

1. Introdução

A pavimentação é um componente crucial da infraestrutura de transporte de qualquer nação, influenciando de forma significativa o seu progresso econômico ao facilitar a movimentação de indivíduos e bens, impactando assim o crescimento social [1]. Conforme a Confederação Nacional do Transporte, no Brasil, o sistema de transporte é dominado pelo transporte rodoviário, que é responsável por aproximadamente 65% do transporte de bens e 95% do transporte de pessoas, evidenciando a necessidade de se ter condições apropriadas para seu funcionamento e uso [2]. Quando refere-se a parâmetros técnicos e custos ao longo da vida útil do projeto, o pavimento rígido apresenta uma importância maior de execução para suportar veículos pesados, resultando em vias mais qualificadas e adequadas para o tráfego nos dias atuais [3].

O presente estudo aborda o Pavimento Rígido (PR), caracterizado por uma camada única de concreto Portland que atua simultaneamente como revestimento e base, apoiada sobre as camadas subjacentes. Devido à elevada resistência à tração e à flexão do concreto, o PR apresenta reduzidas deformações, mesmo sob tráfego intenso e em solos de baixa capacidade de suporte, tornando o subleito menos determinante na estrutura. A durabilidade e o baixo índice de manutenção conferem ao PR vantagens significativas em comparação aos pavimentos flexíveis, sendo indicado para rodovias, avenidas de grande fluxo e aeroportos. Além de proporcionar conforto e segurança aos usuários, destaca-se pela impermeabilidade e eficiência no escoamento superficial. Contudo, patologias podem ocorrer em função de fatores como falhas construtivas, ausência de manutenção, solicitações superiores às previstas e deficiências no controle tecnológico. Assim, a estrutura do PR deve atender tanto aos critérios estruturais (resistindo às cargas e distribuindo-as adequadamente) quanto aos funcionais (assegurando boas condições de tráfego, conforto e segurança operacional) [4, 5, 6, 7].

A deterioração dos pavimentos rígidos (PR) ocorre de forma inter-relacionada, baseada na chamada cadeia de consequências, na qual os defeitos não se desenvolvem isoladamente, mas são influenciados por fatores ativos, como o tráfego e as condições climáticas, e fatores passivos, como a espessura das camadas, os materiais empregados e a qualidade da execução. Esses fatores contribuem para a redução da vida útil do pavimento, refletida em seu desempenho funcional e estrutural. Tal processo é denominado deterioração do pavimento. Para monitorar e gerenciar essa degradação, países como os Estados Unidos utilizam índices como o Pavement Condition Index (PCI), desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (USACE). As falhas em PR ocorrem, em sua maioria, de forma localizada e estão associadas a diversas causas, sendo menos comum a degradação uniforme por desgaste ao fim da vida útil ou falhas de projeto. Os defeitos são classificados em estruturais (relacionados à capacidade do pavimento em manter sua integridade física e ao planejamento de reabilitação com custos otimizados) e funcionais (voltados à qualidade da superfície de rolamento oferecida ao usuário). As causas dos defeitos mais comuns que ocorrem em pavimentos rígidos são: alçamento de placas, fissura de canto, placa dividida, escalonamento/degrau nas juntas, esborcinamento/quebra de canto, esborcinamento de juntas, falha nas selagem das

juntas e fissuras lineares (transversais, longitudinais e diagonais) [8, 9, 10]. Nesta pesquisa, foi feito um diagnóstico no pavimento em uso em um trecho da Avenida Caxangá e em um trecho do pavimento em construção da BR 101 / lote 5, o qual foi elaborado com vistorias aos trechos, registro fotográficos das manifestações patológicas, pesquisas nas normas técnicas, manuais de pavimentação e na literatura específica do assunto. Há também uma discussão no procedimento de reparo das placas de PR em estudo, o conteúdo do Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos (MRPR) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e de livros que tratam especificamente do assunto.

2. Estudo de caso

2.1 Descrição do estudo de caso do pavimento rígido em uso da avenida Caxangá

Localização: A Avenida Caxangá está localizada na zona oeste da cidade de Recife, essa via tem 6,2 Km de extensão aproximadamente, sua última ampliação aconteceu em 1966 onde foi projetada uma segunda faixa de rolamento em concreto armado para os veículos. Depois de ter sido criado o corredor exclusivo de ônibus pelo centro da avenida, sua capacidade foi aumentada e atualmente essa via faz parte do projeto do Corredor leste-oeste do Recife, a qual está recebendo uma grande obra para adequar e melhorar a mobilidade urbana nesta região.

Idade do pavimento: A idade do pavimento da avenida Caxangá é de 47 anos aproximadamente, que em função da falta de manutenção periódica, o mesmo vem sofrendo um nível de desgaste bastante elevado e com o tráfego intenso que recebe, a qualidade do nível de serviço ofertado aos usuários está reduzindo de forma acelerada.

Reparos realizados: Ao longo dos anos foram feitos alguns reparos na Caxangá, entretanto sempre de formas localizadas e de carácter estritamente corretiva, ou seja, quando a via não oferece mais condições de rolamento à população. Os reparos realizados que se percebeu ao realizar a vistoria foram, em novembro de 2012, num trecho de 200m: Reparos Profundos e Demolição e Reconstrução de poucas placas.

2.2 Descrição do estudo de caso do pavimento em construção da BR 101/PB

Localização: O pavimento em construção que precisou ser recuperado encontra-se no lote-05 da BR-101/PB, trecho que liga a divisa RN/PB a divisa PB/PE, no sub-trecho localizado na entrada da PB-025 até a divisa PB/PE com extensão de 54,9 km, sob responsabilidade do Exército Brasileiro.

Projeto executivo: As camadas do pavimento rígido utilizado na duplicação da BR 101 Nordeste, estão dispostas, segundo o projeto executivo, nesta sequência:

Na pista de rolamento: **1)** Placa de concreto de cimento Portland, com resistência à tração na flexão de 4,5 MPa e espessura de 0,22 m. **2)** Pintura de ligação com RR 2C com a taxa de 0,6 l/m². **3)** Sub-base de concreto compactado a rolo (CCR), de resistência à tração na flexão de 1,8 MPa, com espessura de 0,10 m.

No acostamento: **1)** Revestimento em concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ) faixa C, com espessura de 0,04 m. **2)** Base de brita graduada com espessura de 0,28 m. **3)** As juntas transversais de retração são preenchidas com barras de transferência, com comprimento de 46 cm, diâmetro de 25mm (CA-25), sendo que 25 cm pintadas e engraxadas e espaçamentos de 30cm. As juntas longitudinais de articulação são preenchidas com barras de ligação com comprimento de 85 cm, diâmetro de 12,5mm (CA-50), e espaçamento de 75 cm.

Procedimento executivo: Os materiais constituintes do concreto das placas da BR 101, foram: Cimento Portland II F 32 CIMPOR, consumo de 388 Kg/m³; brita 32,10mm, consumo = 733Kg/m³; brita 19,1mm, consumo = 489 Kg/m³; areia natural, consumo = 713 Kg/m³ e um aditivo polifuncional Sikament PF 175 na proporção de 0,8% em relação a massa do cimento. O teor de argamassa mínimo foi 45% e a consistência 6 ± 1 cm. A resistência mínima exigida à tração na flexão foi de 4,5 MPa. A fabricação do concreto para as placas foi feita em central dosadora e misturadora, o transporte até o local de aplicação foi feito por caminhões basculantes.

Para a construção das placas de concreto foi utilizada a vibroacabadora de fôrmas deslizantes que trabalhou com largura total de 10,5 m e espessura da placa de 22 cm. As barras de transferência eram pré-fixadas no local correto das juntas transversais com auxílio de espessadores, através da “pistola de pressão”, enquanto que as barras de ligação, a própria pavimentadora as inseria, equidistantes na junta longitudinal, no interior da massa do concreto, à medida que a concretagem ia avançando. O acabamento da superfície da placa e a aplicação do agente de cura química eram executados imediatamente após a concretagem da placa, ainda o concreto no estado fresco, afim de que durante o endurecimento o concreto não sofresse nenhum tipo de contato.

2.3 Manifestações patológicas em algumas placas de concreto da avenida Caxangá

Inicialmente, uma vistoria foi realizada no trecho compreendido entre os números 272 e 450, onde foi percebido a ocorrência de 5 manifestações patológicas em placas. Dentre elas, o primeiro tipo de defeito encontrado foi fissura de canto [9]. O segundo tipo de defeito encontrado foi grande reparo, que é uma área do pavimento original maior que 0,45 m², que foi removida e posteriormente preenchida com um material de enchimento. Depois foi identificado o defeito de fissura transversal, a qual ocorre na direção da largura da placa, perpendicularmente ao eixo longitudinal do pavimento. Outro defeito encontrado foi esborcinamento de juntas, o qual se caracteriza pela quebra das bordas da placa de concreto (quebra da cunha) nas juntas, com o comprimento máximo de 60 cm, não atingindo toda a espessura da placa.

Na sequência foram encontradas fissuras de retração plástica que são fissuras pouco profundas (superficiais), de pequena abertura (inferior a 0,5mm) e de comprimento limitado. Sua incidência costuma ser aleatória e elas se desenvolvem formando ângulos de 45° a 60° com o eixo longitudinal da placa.

2.4 Problemas observados nas placas da BR 101/PB

Ao longo de um trecho de aproximadamente 3 Km, do pavimento ainda em construção, encontrou-se uma quantidade demasiada de fissuras de retração plástica (Figura 1) de inatividade comprovada por meio do monitoramento das aberturas das fissuras com uso de pasta de gesso.

Figura 1: Fissuras no pavimento rígido do lote 05, da BR-101/NE.



Esse fenômeno provoca danos irreversíveis ao pavimento, devido sua fissuração, tais como perda de durabilidade, infiltração, entre outros. A equipe técnica de Engenharia do Exército Brasileiro, e da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP realizaram medições, por meio de uma estação móvel instalada próximo ao trecho, das condições atmosféricas locais. As condições de exposição ao sol e ao vento do trecho avaliado tornaram as taxas de evaporação de água da superfície do concreto superiores a $0,5 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$, considerada aceitável, fato esse que aumenta bastante a possibilidade do surgimento de fissuras de retração plástica no concreto em suas primeiras horas de vida. Além dos parâmetros visuais coletados em campo, foram analisados os métodos construtivos de execução do pavimento rígido em questão, através da norma DNIT 049/2013-ES, e o processo de fabricação do concreto, controle e recebimento através da norma NBR 12655 [11,12].

3. Resultados e análise

3.1 Procedimentos de reparo para avenida Caxangá

Em função da dificuldade de acesso às informações mais detalhadas sobre a via junto à Prefeitura da Cidade do Recife – PCR, do histórico de intervenções e projetos geométricos e de pavimentação, continuou-se seguindo as orientações existentes no MRPR. Os procedimentos de reparo para as patologias encontrados são:

3.1.1 Resselagem de juntas:

À base de silicone, que é especialmente indicado para juntas de grande movimentação e abertura, como o tipo 890-SL, fabricado pela Dow Corning do Brasil, que é de cura lenta; À base de poliuretano, tipo Sikaflex T68 NS da Sika; Asfalto polimerizado e aplicado a quente, tipo Crafcro, que apresenta o inconveniente de exigir equipamento especial para o seu aquecimento; ou outro equivalente.

3.1.2 Recuperação de juntas:

1) Corta-se o concreto com serra de disco diamantado, até uma profundidade de 1,5 a 2 cm, segundo uma linha paralela à junta, dela distando de aproximadamente 15 cm. **2)** Em seguida, com martelo de ar comprimido (ou processo equivalente), remove-se o concreto entre a junta e o corte até a profundidade necessária, que deve ter 5 cm, no mínimo. **3)** Removem-se as partes de concreto afetadas ou em mau estado e nivela-se o fundo da abertura feita na placa, procedendo-se, então, a uma limpeza com jato de ar. **4)** Certificando-se de que as paredes e o fundo do reparo estão limpos e secos, aplica-se uma pintura de ligação (ponte de aderência), com pasta à base de resina epóxica, numa espessura de 1 a 2 mm (exceto na parede formada pela placa adjacente, onde deve ser colocada uma talisca de madeira, plástico ou isopor, para recompor a junta); Esta pintura de ligação também pode ser uma resina de base acrílica ou uma calda de cimento com adição desta mesma resina de base acrílica, tendo o seguinte traço, em volume: 4 partes de cimento; 1 parte de água; 1 parte de emulsão adesiva. Preparar pequenas quantidades desta calda adesiva, pois o intervalo de tempo máximo decorrido entre a aplicação desta calda e o lançamento do concreto de encontro a ela deve ser de 20 minutos. **5)** Logo em seguida, lança-se o concreto, que deve ter as seguintes características básicas: consumo de cimento mínimo de 350 kg/m³; dimensão máxima do agregado igual ou inferior a 1/3 da espessura do reparo; Como alternativa ao concreto, podem ser empregadas argamassas de grout de alta resistência e não retráteis, além de argamassas de cimento e areia com traço de no máximo 1 de cimento: 3 de areia (em massa), ou argamassas poliméricas adequadas para este tipo de aplicação. A superfície do concreto deve ser acabada, conforme o tipo de textura do pavimento. **6)** O concreto deve ser curado inicialmente com produtos de cura química e, posteriormente, com panos ou sacos de estopa ou de aniagem, mantidos permanentemente úmidos, até a placa ser aberta ao tráfego.

3.1.3 Tratamento de fissuras

O tratamento das fissuras lineares (transversais, longitudinais ou diagonais), de abertura igual ou menor que 1 mm e não esborcinadas, deve consistir na sua vedação, para evitar a penetração de elementos agressivos para o interior do concreto, além de materiais incompressíveis, que podem com o tempo, ocasionar o esborcinamento dos cantos destas fissuras. Para fissuras estáveis (sem movimentação), o material empregado nesta vedação pode ser do tipo rígido, enquanto nas fissuras ativas (com movimentação) deve ser do tipo flexível. Os procedimentos para o tratamento das fissuras superficiais, conforme a maneira como a fissura se apresenta, são indicados a seguir:

3.1.4 Fissuras lineares que não atravessam toda a espessura da placa

Fissuras com abertura igual ou menor que 0,4 mm: Deve ser aplicada uma resina epóxi de baixa viscosidade (<100 mPa.s), para permitir que, por absorção capilar, a própria fissura promova a penetração da resina para o seu interior, realizando uma vedação satisfatória. Se a fissura for estável, isto é, não apresentar movimentação, devido às variações sazonais, pode ser aplicado um produto rígido. A fissura que apresenta movimentação deve ser tratada com uma resina que também tenha baixa viscosidade, mas que seja flexível, como por exemplo, o produto Mac Injekt 2300 Plus da MC Bauchemie ou outro equivalente.

Fissuras com abertura entre 0,4 mm e 1,0 mm: Admite-se o tratamento destas fissuras, por meio da sua selagem, caso elas não se apresentem desniveladas. Quando a fissura for muito irregular, impossibilitando o corte com serra de disco, recomenda-se o apicoamento de suas bordas, ao longo de toda a sua extensão, numa seção retangular, com profundidade máxima de 25 mm e largura máxima de 50 mm. A seguir, completa-se a limpeza da ranhura com ferramentas manuais e jato de ar comprimido e aplica-se, então, o material selante apropriado, que deverá ser vazado no local (a quente ou a frio) ou pré-moldado.

3.1.5 Fissuras que atravessam toda a espessura da placa

Fissuras com abertura igual ou menor que 0,4 mm: O tratamento das fissuras consiste na injeção da fissura com resina nos seguintes passos:

- 1) Ao longo da fissura efetuar furos com broca de vídea, com 12 mm de diâmetro (1/2"), na direção perpendicular à superfície do pavimento, até a profundidade de 30 mm. Estes furos devem estar espaçados em torno de 50 cm, devendo ser executados a seco, tendo-se a precaução de remover simultaneamente a poeira.
- 2) A seguir, os furos devem ser limpos e secados por meio de jatos de ar, para retirada de todo o pó aderente e outros detritos.
- 3) Nestes furos devem ser colocados tubos plásticos transparentes, que devem ser fixados ao furo por meio de um adesivo estrutural fluido, bicomponente, à base de resina epóxi, como, por exemplo, o Sikadur 32, da SIKA, ou outro equivalente.
- 4) Para a contenção da resina de injeção, deve ser aplicado sobre toda a fissura um adesivo estrutural, à base de resina epoxi, bicomponente e que seja tixotrópico, como o Sikadur 31, da SIKA ou outro equivalente.
- 5) Na execução desta injeção deve ser empregada uma bomba para injeção de ar comprimido ou manual, devendo a pressão de injeção ser de cerca de 3 kgf/cm². A resina a ser utilizada nesta injeção deve ter baixa viscosidade (<100 mPa.s), para permitir uma penetração mais eficiente na fissura.
- 6) Se a fissura apresentar movimentação, deve ser empregada uma resina que também tenha baixa viscosidade, mas que seja flexível, como por exemplo, o produto Mac Injekt 2300 Plus da MC Bauchemie, ou outro equivalente.

7) No caso de ocorrer qualquer anomalia durante a injeção, deve ser feita a reinjeção da fissura, através de novos furos de injeção intercalados entre os furos feitos anteriormente.

8) Decorrido o período de cura da resina, que é aquele indicado pelo fabricante, devem os tubos de injeção ser removidos, sendo a cavidade por eles formada preenchida com a mesma resina empregada na injeção.

9) Após o término da cura da resina, a superfície do concreto ao longo da fissura deve ser esmerilhada, eliminando-se as saliências existentes em relação à superfície original do pavimento.

Obs: Na aplicação dos materiais de injeção, devem ser seguidas as orientações do fabricante destes materiais.

3.2 Pavimento em uso da avenida Caxangá

Em relação ao estudo de caso do pavimento em uso da Avenida Caxangá em Recife/PE, conseguiu-se identificar com precisão 5 manifestações patológicas existentes, à época da vistoria, e também, seguindo a metodologia existente no MRPR, foi possível descrever a forma de recuperação das Placas de Concreto de Cimento Portland – PCCP estudadas. Como as condições estruturais estão bastante comprometidas, caso não se faça nenhuma intervenção rápida nesse pavimento, haverá um agravamento súbito da estrutura do pavimento e a quebra, o afundamento, o bombeamento dos finos da sub-base e conseqüentemente a ruína serão inevitáveis. Todavia, se em paralelo com as recomendações de reparo escritas nesse trabalho for feito um trabalho de levantamento mais detalhado para uma análise mais criteriosa da situação do pavimento, é bem provável que se alcance uma recuperação a nível de restabelecer as condições estruturais equivalentes a original, oferecendo as condições de conforto e de segurança de tráfego, tão necessárias aos usuários.

3.3 Procedimento de reparo para as placas de concreto da BR 101- lote 5

Em busca da técnica que solucionasse as fissuras de retração plástica que surgiram nas placas da BR 101, realizaram-se ensaios no pavimento rígido a fim de selecionar as melhores técnicas de injeção e os produtos que satisfizessem as prescrições das normas NBR 7681; NBR 7681-2; NBR 7681-3; NBR 7681-4 que se adequassem ao comportamento das fissuras nas condições de abertura, profundidade e comprimento [13, 14, 15, 16]. No início utilizou-se uma resina epoxídica, injetada pelo método pressurizado. O resultado foi considerado insatisfatório, visto que essa resina não preencheu totalmente as fissuras. Na sequência, tentou-se utilizar uma pasta de água e cimento Portland comum, porém pelo comportamento das fissuras em termos de abertura e profundidade, a mistura não teve fluidez suficiente para penetrar e preencher os vazios. Por meio de uma pesquisa de mercado, encontrou-se o microcimento como um material que apresentava várias aplicabilidades na injeção de fissuras. O microcimento era um insumo que tinha propriedades semelhantes às do concreto, no estado fresco e também no endurecido, e se adaptava bem às fissuras inativas das placas da BR 101.

Cinco técnicas de injeção de calda coloidal de microcimento foram experimentalmente testadas para verificar a eficácia do serviço (Figura 2). Contudo, apenas a Injeção pressurizada por obturador a vácuo e a Injeção por gravidade através do uso de picetes (vaso de pressão manual) apresentaram resultados satisfatórios em relação ao preenchimento total das fissuras: **1)** Injeção pressurizada por obturador a vácuo. **2)** Injeção pressurizada por obturador de inserção. **3)** Injeção por gravidade através do uso de picetes (vaso de pressão manual). **4)** Injeção pressurizada por obturador de adesão superficial. **5)** Injeção pressurizada por obturador de fenda.

Figura 2: Técnicas de injeção de calda coloidal de microcimento



O resultado do preenchimento das fissuras e das resistências à compressão axial foram bastante satisfatórios. As duas técnicas mostraram-se eficientes do ponto de vista de praticidade e rapidez, no momento da execução. A definição da metodologia baseou-se na abertura das fissuras, sendo recomendado o seguinte:

1) As Fissuras de retração plástica com comprimento inferior a 0,60 m, abertura inferior a 1,0 mm, não interligada e com profundidade de até metade da espessura da placa, recomendação do uso de injeção por gravidade de microcimento. **2)** As fissuras de retração plástica com comprimento superior a 0,60 m a 1,0 m, abertura superior a 1,0 mm e com profundidade que pode atingir toda a espessura da placa, recomendação do uso de injeção pressurizada de microcimento. **3)** As fissura de retração plástica com comprimento superior a 1,0 m, abertura superior a 1,0 mm e com profundidade que pode atingir toda a espessura da placa, com elevado grau de incidência por placa e interligadas, recomendação demolição total das placas. O cimento utilizado na aplicação de calda coloidal de microcimento foi Microcem 20, devido à facilidade no controle de fluidez e viscosidade durante o processo de fabricação dela e durante a aplicação, além de uma penetração e injetabilidade muito superior ao das caldas de cimento convencionais. Parte deste segmento foi tratado com as técnicas de injeção pressurizada e por gravidade com a finalidade de servir de experimentos e avaliações posteriores.

3.3.1 Análise dos resultados de injeção com microcimento nas fissuras

Concluída a aplicação de injeções de calda coloidal de microcimento, de imediato realizou-se 53 extrações de testemunhos 10 cm x 20 cm em várias placas, sendo 48 para analisar a resistência à compressão axial e 5 a eficiência da colmatação por microscopia óptica. No universo amostral das placas de concreto do pavimento recuperado, as amostras escolhidas para o estudo foram as situadas entre os quilômetros 113 e 115 com extensão de 1.902 metros. Os resultados de resistência à compressão axial dos testemunhos foram satisfatórios, ou seja, a resistência atingida ultrapassou a de projeto, conforme demonstrado no Quadro 1 e 2. Tais resultados foram comparados com os das resistências à compressão axial, dos concretos moldados no período de execução do pavimento.

Quadro 1 - Resistências antes injeção do microcimento

Local (Estacas)	Resistência à Compressão Axial aos 28 dias (MPa)	Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias (MPa)
2037 a 2032	36,2	4,8
2037 a 2032	36,4	4,6
2032 a 2027	42,5	4,3
2032 a 2027	42,8	5,2

Quadro 2 – Resistências após a injeção do microcimento

Local (Estacas)	Resistência à Compressão Axial aos 28 dias (MPa)	Resistência à Tração na Flexão aos 28 dias (MPa)
2035 a 2032	42,0	4,6
2032 a 2030	48,9	4,3
2032 a 2030	42,7	5,2
2030 a 2028	40,3	5,6
2030 a 2028	42,0	4,4
2028 a 2026	48,9	4,6
2035 a 2032	37,7	4,6
2032 a 2030	37,7	4,3
2032 a 2030	42,0	5,2
2030 a 2028	48,9	5,6
2030 a 2028	42,7	4,4
2028 a 2026	48,9	4,6
2035 a 2032	40,3	4,6
2032 a 2030	42,0	4,3
2032 a 2030	35,4	5,2
2030 a 2028	48,9	5,6
2030 a 2028	42,7	4,4
2028 a 2026	38,2	4,6
2035 a 2032	42,7	4,6
2032 a 2030	48,9	4,3
2032 a 2030	48,9	5,2
2030 a 2028	42,0	5,6
2030 a 2028	38,2	4,4
2028 a 2026	37,7	4,6

Considerando que o projeto especifica a resistência à tração na flexão e não à resistência a compressão axial, estabeleceu-se uma relação entre o valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão e o valor estimado da resistência característica do concreto à compressão axial no período antes da colmatação, cuja relação variou entre 0,14 e 0,12. O mesmo comparativo foi feito com as resistências à compressão axial encontradas pelos testemunhos com as fissuras colmatadas e conclui-se pela aprovação. Quase 2 anos depois de executada a colmatação e do trecho liberado ao tráfego, como verificação suplementar foram feitas análises microscópicas em 5 (cinco) testemunhos.

3.4 Pavimento em construção da BR 101 lote 5

Sobre o estudo de caso do pavimento rígido em construção da BR 101/PB, foram detectados os agentes causadores que motivaram o surgimento das fissuras de retração plástica precocemente nas placas de concreto, os quais foram os fenômenos naturais: grande incidência de sol, ou seja, a exposição às altas temperaturas na região do concreto ainda no estado fresco, como também velocidades do vento existentes, superiores a considerada aceitável. Para essa evitar o surgimento de novas fissuras em futuras concretagens para construção de placas, a solução encontrada foi: a execução da cura úmida com manta geotêxtil durante 7 dias, além da cura química a qual já vinha sendo executada. Em relação à colmatação das fissuras de retração plástica num trecho de aproximadamente 3 Km, 2 (duas) técnicas de injeção de microcimento foram mais eficientes (por Gravidade e Pressurizada com Obturador a vácuo) sendo a última a mais eficaz em relação aos preenchimentos dos vazios internos, comprovados pelas análises de microscópica óptica, em 5 testemunhos retirados num trecho que já havia tido tratamento de colmatação de fissuras e liberado ao tráfego há quase 2 anos. Contudo, em ambas as técnicas de injeção o preenchimento foi parcial. Em relação à resistência aos esforços mecânicos, medidos pelo ensaio de compressão axial, os resultados dos testemunhos extraídos foram satisfatórios, conforme o Quadro 2.

Para se chegar ao valor de resistência à tração na flexão do trecho estudado, utilizou-se a relação, já existente do banco de dados de resistência já existente da obra, entre a resistência a tração na flexão e a resistência à compressão axial, a qual variou entre 0,12 e 0,14. Formando os lotes para o estudo estatístico e aplicando a citada relação aos resultados de compressão axial do Quadro 2, percebe-se que o trecho está aprovado, uma vez que o resultado calculado é superior aos 4,5 MPa de resistência à tração na flexão exigidos no projeto. Para se chegar a resultados mais precisos, é interessante que sejam realizados também ensaios de fadiga, a fim de monitorar se no trecho que houve a colmatação de fissuras de forma parcial, haverá redução da vida útil. Como sugestão também é interessante que se faça ensaios de compressão diametral dos testemunhos extraídos e se faça uma relação com os ensaios de compressão axial, para verificar se essa relação também se mantém próxima de 0,12 e 0,14.

4. Conclusões

Este artigo permitiu uma análise e diagnóstico das manifestações patológicas presentes em pavimentos rígidos, tanto na Avenida Caxangá/PE (em uso) quanto na BR-101/PB, lote 5 (em fase de execução). Em ambos os trechos, identificou-se uma falha na manutenção preventiva, o processo de cura não executado corretamente e os fatores ambientais que influenciam diretamente no surgimento dessas anomalias, como fissuras e esborcinamentos. Na Avenida Caxangá, a falta de intervenções qualificadas no decorrer dos anos, ocasionou de forma direta a degradação do pavimento. Dessa forma, é de fundamental importância que aconteçam ações corretivas para que não ocorra a ruptura generalizada da estrutura. Ademais, no trecho da BR-101 encontrou-se de forma rápida e eficaz os agentes causadores das fissuras de retração plástica, possibilitando uma adoção de métodos inovadores de colmatação, com destaque principal na calda coloidal de microcimento, que foi responsável pelos resultados satisfatórios, considerando fatores técnicos, de durabilidade e resistência. Além disso, os ensaios laboratoriais foram cruciais para comprovar a assertividade dos métodos aplicados ao longo do estudo de caso, resultando em uma maior segurança no desempenho da estrutura do pavimento, após o tratamento.

5. Referências

- [1] CAVALET, Victor N. et al. Análise comparativa do custo-benefício entre pavimentos flexíveis em concreto asfáltico e pavimentos rígidos em concreto de cimento portland aplicado em rodovia de alto tráfego. Balneário Camboriú, v. 33, 2019. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019v1.1%20simpo/Infraestrutura/Dimensionamento%20Avaliacao%20e%20Gestao%20de%20Pavimentos%20III/1_719_AC.pdf.
- [2] CNT: Confederação Nacional de Transporte: Pesquisa CNT Rodovias 2021. CNT, Brasília, [s.d]. Disponível em: [//static.poder360.com.br/2021/12/ pesquisa-cnt-rodovias.pdf](http://static.poder360.com.br/2021/12/pesquisa-cnt-rodovias.pdf). Acesso em: 08 jun. 2025.
- [3] ALVARENGA, LOPES A. T. E. A. V. UNIVERSIDADE DE SÃO FRANCISCO, 2013. Disponível em: <https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3268.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2025.
- [4] HELENE, Paulo et al. Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo, PINI / SENAI, 1992.
- [5] BALBO, José T. Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- [6] MESQUITA, J. C. L Pavimento Rígido como Alternativa Econômica para Pavimentação Rodoviária. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.
- [7] BERNUCCI, Leidi Bariani et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008.
- [8] DNIT IPR-737 – Manual de recuperação de pavimentos rígidos. Rio de Janeiro, 2010.
- [9] DNIT 061/2004-TER - Pavimento rígido - Defeitos – Terminologia. Rio de Janeiro, 2004.

- [10] DNIT IPR-720 – Manual de restauração de pavimentos asfálticos - 2. ed. - Rio de Janeiro, 2006.
- [11] DNIT 049/2013-ES – Pavimento rígido-Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrmas deslizantes-Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2013.
- [12] NBR 12655 – Concreto - Preparo, controle e recebimento. Rio de Janeiro, 2006.
- [13] NBR 7681: Calda de cimento para injeção. Rio de Janeiro, 2013.
- [14] NBR 7681-2: Calda de cimento para injeção – Determinação do índice de fluidez. Rio de Janeiro, 2013.
- [15] NBR 7681-3: Calda de cimento para injeção – Determinação dos índices de exsudação e expansão. Rio de Janeiro, 2013.
- [16] NBR 7681-4: Calda de cimento para injeção – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2013.