

24th Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 47^a Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)

PROJETO DE REESTRUTURAÇÃO DE PAVIMENTOS PARA VIABILIDADE DE SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO – WIM

Keyla Junko Chaves Shinohara¹; Emmanuelle Stefânia Holdefer Garcia²; Adosindro Joaquim de Almeida³; Gustavo Garcia Otto⁴; & Amir Mattar Valente⁵

RESUMO

Dada a expansão econômica no Brasil, houve aumento do volume de tráfego de veículos de carga nas rodovias, podendo ser associado ao desgaste precoce dos pavimentos. Visando o monitoramento, estudam-se estudos para a implantação da fiscalização direta e automática por meio de sistemas de pesagem em movimento em alta velocidade (WIM), considerando a velocidade diretriz da pista. Os sistemas WIM contam com a tecnologia de sensores, câmeras, scanners, entre outros, responsáveis por identificar a carga dos veículos e sua distribuição por eixo durante o deslocamento, além de monitorar os danos causados ao pavimento. Para que essa automatização não dependesse da construção de novas rodovias, houve o objetivo de implementar o sistema em rodovias existentes e verificar sua funcionalidade, decisão tomada principalmente pelo custo de uma obra de pavimentação. O projeto para instalação de sensores WIM, cooperação entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes e o Laboratório de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina, ocorreu em um trecho da BR-101 Sul. O monitoramento da pista teste foi mantido por aproximadamente 5 anos, entretanto, a rodovia apresentou defeitos prematuros e necessitou de restaurações constantes, o que dificultou a aquisição de dados do sistema WIM. Assim, a necessidade de reestruturação da pista para acurácia na aquisição de dados foi projetada considerando duas opções construtivas. Uma alternativa em concreto continuamente armado e outra em pavimento asfáltico espesso com ligante do tipo 30/45 que foram implantadas na área de testes WIM, mantendo o restante da rodovia sem intervenções. Desta forma, rodovias existentes podem ser otimizadas em determinadas áreas para compor estes sistemas e, com isso, desempenhar a função de fiscalização de excesso de carga. A pista de testes apresenta dois projetos de reestruturação, um em pavimento de concreto continuamente armado e outro em pavimento asfáltico utilizando ligante tipo 30/45 convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimento asfáltico. WIM. Projeto. Reestruturação.

ABSTRACT

Due to the economic expansion in Brazil, there is a concomitant increase in the volume of cargo vehicle traffic on the highways, which may be associated with early sidewalk wear. Aiming at monitoring, studies are underway for the implementation of direct and automatic inspection by means of high speed weigh-in-motion systems (WIM), considering the speed of the highway. The WIM systems rely on sensor technology, cameras, scanners, among others, and are responsible for identifying the load of the vehicles and its distribution per axle during displacement, in addition to monitoring the damage caused to the pavement. In order for this automation not to depend on the construction of new roads, the objective was to implement the system in existing roads and verify its functionality. The project to install WIM sensors, through a cooperation agreement between the National Department of Transportation Infrastructure and the Laboratory of Transportation and Logistics of the Federal University of Santa Catarina, took place on a stretch of BR-101 South. The monitoring of the test lane was maintained for 5 years, however, the highway presented premature damage and needed constant restorations, which made it difficult to acquire data from the WIM system. Thus, the need to restructure the road for data acquisition accuracy was designed considering two construction options. An alternative in continuously reinforced concrete and another one in long life asphalt pavement with binder 30/45 type that were implemented in the WIM test area, keeping the rest of the road without interventions. In this way, existing roads can be optimized in certain areas to compose these systems and thus perform the overload monitoring function. The test lane presents two restructuring projects, one on continuously reinforced concrete pavement and the other on asphalt pavement using conventional binder 30/45 type.

KEY WORDS: Asphalt pavement. WIM. Project. Restructuring.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Transporte e Logística, Rua João Pio Duarte da Silva,



9 A 12 DE AGOSTO DE 2022
BENTO GONÇALVES/RS
www.rapvenacor.com.br



número 205, Florianópolis/SC, keylajunko@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Transporte e Logística, Rua João Pio Duarte da Silva, número 205, Florianópolis/SC, emmanuelle.holdefer@gmail.com

³ Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Transporte e Logística, Rua João Pio Duarte da Silva, número 205, Florianópolis/SC, adosindro@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Transporte e Logística, Rua João Pio Duarte da Silva, número 205, Florianópolis/SC, otto.gus@gmail.com

⁵ Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Transporte e Logística, Rua João Pio Duarte da Silva, número 205, Florianópolis/SC, amir.labtrans@gmail.com



9 A 12 DE AGOSTO DE 2022
BENTO GONÇALVES/RS

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

O transporte de cargas no Brasil é representado significativamente pelo modal rodoviário, embora os modais ferroviário e aquaviário também tenham recebido fortes investimentos com o passar dos anos. A decisão de investir amplamente no desenvolvimento da malha viária ocorreu no Brasil na década de 1950 com a chegada da indústria automobilística no Brasil e a decisão de construir a nova capital no interior do País. A partir de então, a extensa malha rodoviária nacional passou a requerer a realização de ações de manutenção e controle efetivos da infraestrutura para prover condições de trafegabilidade, logística de produção e escoamento de cargas. No início dos anos 1970, dado o crescimento econômico registrado no Brasil, ocorreu um forte aumento do tráfego de veículos de carga nas rodovias do país, levando as instituições responsáveis pela fiscalização de excesso de peso nas rodovias a implementarem o Sistema de Pesagem em Movimento em Baixa Velocidade (*Low Speed Weigh in Motion - LS-WIM*), tornando-se o primeiro país a executar esse sistema para fiscalização direta de peso em veículos comerciais.

Esse crescimento na frota rapidamente foi associado ao desgaste precoce dos pavimentos, fazendo necessário seu monitoramento frente à preservação do patrimônio público e segurança dos usuários. Assim, no ano de 1975, foi lançado o Plano Diretor de Pesagem, prevendo a implantação de tecnologias de monitoramento de cargas no país. No decorrer dos anos, foi realizada a construção de postos fixos de pesagem compostos de duas frentes, (i) etapa de pré-seleção de infração, com balança para velocidades de até 60 km/h e (ii) sistema de fiscalização, velocidade de até 10 km/h.

O tráfego de veículos pesados, além de induzir cargas excessivas no pavimento, também é responsável por grande parte dos acidentes. Conforme a Confederação Nacional da Indústria, no ano de 2019, foram registrados 16.802 acidentes com veículos de cargas em rodovias federais, representando 25% da totalidade do ano, e destes quase 50% envolveu o tombamento (CNI, 2022). Este tipo de acidente é decorrente de diversas variáveis, entretanto o excesso de carga e sua distribuição no veículo são tidos como agravantes.

Desta forma, tornou-se eminente a necessidade da implementação de eficazes sistemas de acompanhamento no que diz respeito ao transporte de cargas associado à segurança das operações e dos usuários. A fim de minimizar o número de acidentes, diversas estratégias podem ser adotadas, além da conscientização e educação no trânsito, como por exemplo a fiscalização de cargas nas rodovias. A fiscalização torna-se então uma aliada quanto à segurança e manutenção da vida útil do pavimento e deve ocorrer da forma otimizada, sempre que possível, para que não cause impactos no usuário. Como melhorias do sistema de pesagem, no Brasil, encontram-se em andamento estudos para a implantação da fiscalização direta e automática por meio de Sistemas de Pesagem em Movimento em Alta Velocidade (*High Speed Weigh in Motion - HS-WIM*), considerando a velocidade diretriz da pista. Os sistemas de pesagem em movimento HS-WIM contam com a tecnologia de sensores, câmeras, scanners, entre outros, e são responsáveis por identificar a carga dos veículos e sua distribuição por eixo durante o deslocamento, além de monitorar os danos causados ao pavimento.

O monitoramento faz-se essencial visto que os veículos pesados evoluíram quanto à configuração e capacidade de carga, enquanto a infraestrutura rodoviária foi dimensionada para cargas que hoje podem ser consideradas obsoletas. A técnica de projeto do Método de Dimensionamento de Pavimento Flexível pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias, objetiva calcular as espessuras e compatibilizar os materiais de forma que a vida útil do pavimento corresponda a certo número de repetições de uma carga padrão por eixo. Para a validação desse método, torna-se necessário o controle buscando disciplinar o limite de peso por eixo dos veículos.

O processo de automatização dos sistemas de pesagem LS-WIM (dentro dos postos de pesagem) para HS-WIM (em pista) é dependente de diversos fatores, além dos investimentos em tecnologias. O impacto inicial desta alteração é percebido pelo pavimento, que deve apresentar características

específicas de estrutura mecânica para que seja possível a implementação de sistemas HS-WIM. Para a implementação destes sistemas é realizado o levantamento das condições mecânicas e estruturais da rodovia, associados ao tráfego incidente e demais fatores classificatórios.

Para que essa automatização não dependesse da construção de novas rodovias, o objetivo inicial da pesquisa foi de implementar o sistema em rodovias existentes e verificar sua funcionalidade. Esta decisão foi realizada com base principal no custo da obra em si, que possui uma média de 1 milhão de reais por quilômetro construído. Assim, a ideia inicial foi a de instrumentar rodovias existentes e aptas no ponto de vista geométrico e do volume médio diário de veículos para desenvolver e aprimorar os sistemas WIM. Outro fator considerado foi o do volume de veículos de carga que trafegam por estas rodovias, uma vez que o monitoramento do excesso de carga foi e analisado de forma simultânea, para o controle de infrações legais.

Assim, foi desenvolvido o projeto de instalação de sensores WIM, através de um termo de cooperação entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e o Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), em um trecho da BR-101 sul, próximo ao posto de pesagem do km 418. A definição desta pista de testes também considerou que grande parte das rodovias de alto volume de tráfego no país foram dimensionadas utilizando o Método de Dimensionamento de Pavimento Flexível (DNIT, 2006) e desta forma, apresentam similaridade na composição e materiais das camadas.

O monitoramento da pista teste foi planejado para que fosse finalizado juntamente com o fim da vida útil dos sensores, que em média é de 5 anos. Entretanto, a rodovia apresentou defeitos prematuros e necessitou de restaurações constantes, o que dificultou a aquisição de dados do sistema HS-WIM, uma vez em que os sensores passaram por diversas intervenções. Assim, ficou evidente a necessidade de reestruturação da pista para que houvesse tanto acurácia na aquisição de dados quanto ao avanço na pesquisa, vista a busca por novos materiais e processos construtivos objetivando a fiscalização direta.

Por fim, visto que a instalação de sensores HS-WIM em rodovias existentes não foi satisfatória, do ponto de vista de aquisição de dados e resistência mecânica, este artigo apresenta dois projetos de reestruturação de pavimentos para adaptá-los ao recebimento de sistemas HS-WIM. A alternativa de reestruturação não visa o pavimento em sua totalidade, mas sim, na área onde os sensores de pesagem são instalados. Desta forma, as rodovias existentes podem ser otimizadas em determinadas áreas para a utilização destes sistemas e com isso, desempenhar a função de fiscalização do excesso de cargas. A pista de testes apresenta dois projetos de reestruturação, um em pavimento de concreto continuamente armado e outro em pavimento asfáltico utilizando ligante tipo 30/45 convencional.

PISTA DE TESTES UTILIZANDO O PAVIMENTO EXISTENTE

Para monitoramento do comportamento dos sensores HS-WIM quando implementados em uma rodovia com características convencionais, uma pista de testes, foi instalada na rodovia BR-101 sul, km 418, no município de Araranguá/SC (Figura 1). O pavimento existente apresenta configuração similar com o de diversas rodovias brasileiras e conforme o Método de Dimensionamento de Pavimento Flexível sendo constituído de (i) camada de revestimento em mistura asfáltica utilizando ligante 50/70, (ii) camada base em brita graduada, (iii) camada de sub-base em macadame seco e (iv) camada do subleito parcialmente reconstituída com areia. O projeto de dimensionamento não é apresentado, visto o foco na instalação dos sensores no revestimento.

Com o intuito de não afetar o tráfego da BR-101, a pista de testes e os sensores HS-WIM foram instalados na terceira faixa, separada das pistas principais da rodovia por meio de barreiras do tipo *new jersey*. Durante a operação dos sistemas HS-WIM, os veículos pesados e ônibus foram desviados para trafegar sobre essa pista com a velocidade máxima permita na via, neste caso de 80 km/h.

A avaliação deu-se após a instalação de quatro grupos de 16 sensores (quartzo, cerâmico, polímero e óptico), totalizando 64 sensores, incluindo sistemas de transmissão de informações. Um dos principais aspectos do experimento na pista teste, com múltiplos sensores WIM utilizando quatro tecnologias, é a avaliação da capacidade de tais sistemas em fornecer informação consistente sobre o carregamento provocado pelo tráfego e a degradação do pavimento conforme tecnologia utilizada, além de utilizar os dados em planejamento estratégico e fiscalização legal.

A pista foi mantida em funcionamento e ao longo dos cinco anos de monitoramento, foram observadas diversas fissuras, rachaduras e demais defeitos, conforme Figura 1b. Considerando que o desempenho dos sistemas HS-WIM é dependente do comportamento das estruturas na qual são integrados, verificou-se que este tipo de pavimento é capaz de suportar estes sistemas.



a) Após a instalação dos sensores HS-WIM

b) Pista após o fim da vida útil dos sensores

Figura 1. Pista de testes

Durante o monitoramento, o aparecimento de novos defeitos ocorreu simultaneamente à restauração dos antigos, o que tornou a manutenção do sistema HS-WIM altamente dispendiosa e inviável. Desta forma, conclui-se que as rodovias convencionais não apresentam bom desempenho quando visadas para a instalação de sistemas de pesagem, fazendo com que a reestruturação do pavimento se torne inevitável, ou até mesmo uma nova construção seja considerada.

Assim, dois projetos de reestruturação da pista foram projetados de forma a proporcionar a construção de uma via capaz de suportar os efeitos de solicitação do tráfego e a instalação de sensores HS-WIM, mantendo as características de durabilidade e o desempenho da instrumentação.

PROJETOS DE REESTRUTURAÇÃO DA PISTA DE TESTES

Visto que a pista de testes existente não apresentou o desempenho esperado, duas opções de projetos de reestruturações foram dimensionadas. Ambos considerando o tipo de tecnologia adotada, a configuração de sensores e o tipo de pavimento, como exige a instalação de sistemas HS-WIM. O local deve seguir critérios de desempenho quanto a geometria do segmento, o raio de curvatura, as declividades longitudinal/transversal, o tipo de estrutura, a superfície do pavimento, a deflexão e a irregularidade.

A partir destas informações, o projeto de reestruturação da pista de testes foi elaborado. Este projeto permitirá também a instalação e a análise de novas tecnologias para medição e identificação de veículos, como a detecção da assinatura magnética de veículos, tamanho e comprimento de veículos, fiscalização do sistema de freios e rodas dos eixos de veículos.

Considerando a reestruturação da pista de testes, como forma de monitorar o desempenho dos sensores ao longo das solicitações de tráfego e aplicação de cargas, dois projetos são apresentados. Além disso, objetiva-se avaliar o comportamento dos materiais e o aparecimento de defeitos ao longo do período de vida útil projetada. A alternativa A trata de um pavimento em concreto rígido

continuamente armado, que seguiram as diretrizes do Manual de Pavimentos Rígidos – IPR 714 (DNIT, 2005) e da *Federal Highway Administration* (FHWA, 2009). A alternativa B trata de um pavimento flexível utilizando ligante convencional do tipo 30/45, utilizando as diretrizes de dimensionamento do *Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves* (SETRA, 1998).

Alternativa A – Pavimento de concreto continuamente armado

Para a execução da alternativa A, 70 cm do pavimento existente passaram por adaptações. Como área de remoção, foram considerados 55 cm do pavimento, sendo 17 cm de revestimento em concreto asfáltico, 18 cm de base em material granular, 20 cm de sub-base, além disso, 15 cm de subleito foram recompostos com o próprio material, homogeneizado e 5% de cal hidratada adicionada. O pavimento de concreto continuamente armado, dimensionado para esta aplicação, não possui junta transversal de construção, contando apenas com armadura longitudinal contínua. Considerando a norma FHWA (2009), foram estipulados como quantidade de aço longitudinal o mínimo de 0,6% da área da seção transversal da placa de concreto e armadura transversal mínima de 0,085% da área da seção longitudinal da placa de concreto. Assim, a pista de testes projetada, conta com espessura de 25 cm, comprimento de 135 m e laje de transição de 1,2 m. Os procedimentos de cálculo para a obtenção das armaduras longitudinal e transversal, foram realizados conforme o manual *Continuously Reinforced Concrete Pavement Design & Construction Guidelines* (FHWA, 2009).

A estrutura do pavimento de reestruturação A é composta por revestimento de 25 cm de concreto continuamente armado, 15 cm de base de concreto rolado, 15 cm de sub-base de brita graduada e 15 cm de subleito tratado com cal, conforme Figura 2. Entre a camada de base de concreto rolado e o concreto continuamente armado foi realizada uma pintura de ligação do tipo RR-2C.

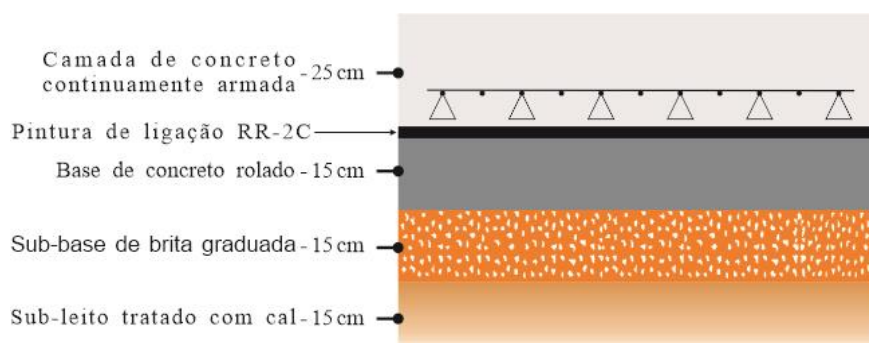


Figura 2. Dimensionamento do pavimento Alternativa A.

Para determinação da quantidade de armadura longitudinal, foram consideradas (i) seção transversal da placa de 5 m por 0,25 m, resultando em uma área de 1,25 m², (ii) área da armadura correspondente a 0,7% de 18 cm²/m, (iii) bitola de aço de 25 mm com área de 4,9 cm² espaçados em 23 cm, resultando na utilização de 25 barras de aço CA-50. A Figura 3 apresenta a seção transversal da placa dimensionada.

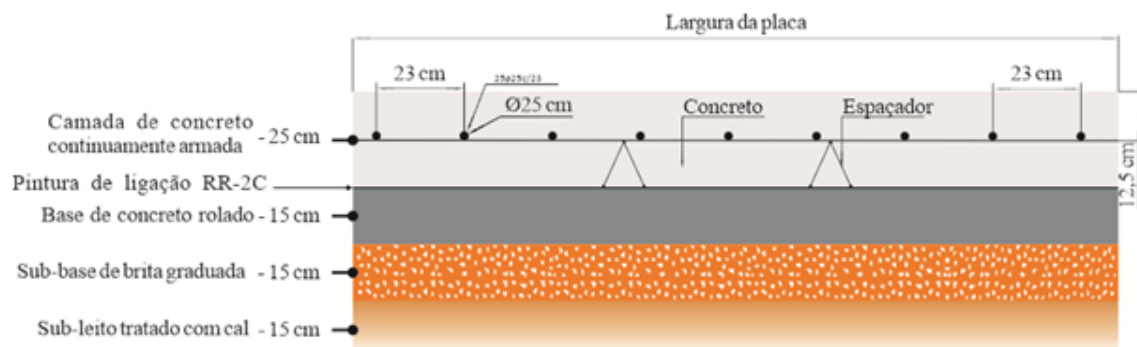


Figura 3. Seção transversal da placa utilizada no pavimento da alternativa A.

Alternativa B – Pavimento asfáltico com CAP 30/45

Um pavimento asfáltico espesso é apresentado como alternativa B, onde é considerada a remoção de 47 cm do pavimento existente, sendo 17 cm de concreto asfáltico, 18 cm de base granular e 12 cm de sub-base. Quanto ao subleito, houve alteração em 100 cm, sendo que em 92 cm houve a recomposição com o próprio material homogeneizado com 5% de cal hidratada, e em 8 cm a recomposição com areia comercial, além do tratamento com cal.

O dimensionamento foi realizado através do *Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves* (SETRA, 1998). A seção foi composta de 6 cm de concreto flexível, 10 cm de camada de ligação, 31 cm de base tratada com ligante, camada de bloqueio e 100 cm de subleito tratado com cal. A Figura 4 exibe as camadas do pavimento e as respectivas espessuras.

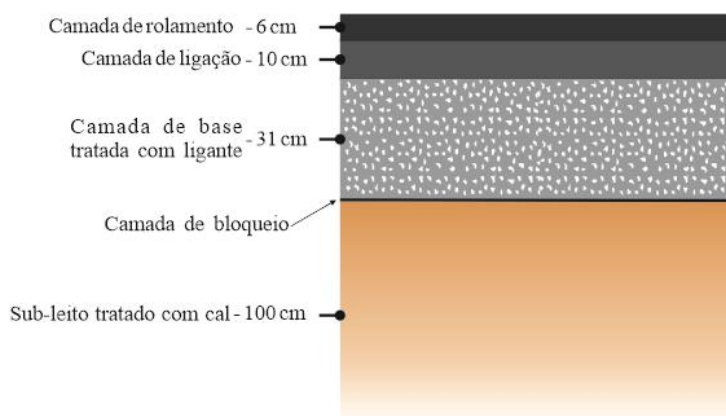


Figura 4. Dimensionamento do pavimento Alternativa B.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou a elaboração de projetos de dois tipos de pavimentos com comportamentos apropriados para a instalação de sistemas HS-WIM, visto possibilitar a fiscalização de excesso de carga. Este projeto foi abordado visto que a instalação do sistema HS-WIM em pavimentos convencionais de rodovias brasileiras não apresentou resultados satisfatórios na pista de testes. As concepções de dimensionamento seguiram o Manual de Pavimentos Rígidos - IPR 714 (DNIT, 2005) da *Federal Highway Administration* (FHWA, 2009), e do *Catalogue des Structures Types de Chaussées Neuves* (SETRA, 1998).

Os dois tipos de estruturas dimensionadas de pavimentos foram o concreto continuamente armado e o concreto asfáltico espesso com CAP 30/45 convencional. Ambas as pistas de testes executadas foram dimensionadas para alcançar melhor característica mecânica para os sistemas HS-WIM.



9 A 12 DE AGOSTO DE 2022
BENTO GONÇALVES/RS
www.rapvenacor.com.br



De modo a satisfazer a área de implementação de sistemas HS-WIM, os projetos de reestruturação foram implementados uma vez em que a rodovia passa por intervenções apenas na área de pesagem. Desta forma, tem-se o viés econômico do ponto de vista em que diversas rodovias brasileiras existentes possam ser adaptadas para uso destes sistemas. Assim, o projeto de construção considera as duas alternativas, manutenção da construção convencional em áreas de tráfego e estrutura reforçada apenas para as áreas de pesagem.

O sistema de fiscalização de excesso de carga de veículos em alta velocidade otimiza o processo de gestão e planejamento no setor de transportes, e pode ser responsável por garantir desempenho eficaz da rodovia ao longo da vida útil de projeto estimada. Sobre as pistas de testes reestruturadas e apresentadas, o LabTrans segue seu monitorando e ademais está desenvolvendo um catálogo de soluções para pavimentos que almejam a instalação de sistemas HS-WIM. Ao final de ambas as pesquisas, o catálogo visa a solução tanto em dimensionamento de pavimentos quanto em relação a necessidade de reestruturação de modo que o pavimento siga o pleno desempenho mecânico desejável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-DNIT. **IPR 714 – Manual de pavimentos rígidos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005, 234p.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **IPR 726 – Diretrizes Básicas para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos básicos/instruções de serviço**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006, 484p.
- CNI. Confederação Nacional Da Indústria. **Relatório Infraestrutura de Junho de 2019**. Disponível em: < <https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2022/4/relatorio-infraestrutura/#relatorio-infraestrutura-junho-2019%20> >. Acesso em: abril de 2022.
- FHWA. Federal Highway Administration. **Continuously reinforced concrete pavements – Design & Construction Guidelines**. Washington, D.C.: Concrete Reinforcing Steel Institute Draft – CRSI, 2009, 172p.
- SETRA. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). **Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Catalogue des structures types de chaussées neuves**. Paris, 1998.