

# Projeto e dimensionamento de um pavimento asfáltico espesso para implantação de sistemas de pesagem WIM

**Adosindro Joaquim de Almeida**

Laboratório de Transporte e Logística, UFSC

**Keyla Junko Chaves Shinohara**

Laboratório de Transporte e Logística, UFSC

**Emmanuelle Stefânia Holdefer Garcia**

Laboratório de Transporte e Logística, UFSC

**Gustavo Garcia Otto**

Laboratório de Transporte e Logística, UFSC

**Amir Mattar Valente**

Laboratório de Transporte e Logística, UFSC



*No Brasil, o setor rodoviário é o sistema de transportes mais utilizado no escoamento de produtos entre as cidades, necessitando de eficiência no controle de excesso de peso para que não diminua o tempo de vida útil do pavimento. Neste sentido, este artigo tem como objetivo mostrar as diretrizes para a construção de uma estrutura de pavimento de concreto asfáltico espesso que garanta a funcionalidade dos sistemas de pesagem em movimento (Weigh-In-Motion - WIM) em alta velocidade, seguindo os parâmetros internacionais de estruturas para esse tipo de fiscalização. A instalação dos sensores de pesagem também é contemplada e para avaliação das demais camadas, sensores foram instalados para o acompanhamento das deformações ao longo da vida útil do pavimento. Verificou-se que os parâmetros de flexão medidos em diferentes camadas e afundamento de trilha de roda atenderam o limite recomendado para Classe I do COST 323.*

## 1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento de pavimentos rodoviários é realizado como função direta do carregamento dos veículos e da carga por eixo legalizado para estimativa da vida útil de projeto. O controle do excesso de carga é capaz de manter as condições estruturais e a segurança dos usuários nas rodovias, além de assegurar a preservação do patrimônio público. A extrapolação das cargas dimensionadas acarreta o aceleração na manifestação e propagação da danos na superfície do pavimento, comprometendo seu desempenho estrutural e acarretando maior dispêndio de recursos em intervalos de tempo menor do que

os projetados. Segundo Kishore e Klashinsky (2000) a sobrecarga de 10% nos veículos pode proporcionar no pavimento aumento de danos na ordem de 40%. Na Polônia, a média anual de veículos sobrecarregados varia de 6% a 25% (RYS, 2016). De modo geral, o excesso de peso em veículos pesados no Brasil varia de 9% a 12% (BRITO et al., 2014; BOSSO et al., 2016).

Dada a preocupação em fiscalizar com maior eficiência os veículos e preservar o patrimônio brasileiro, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) iniciou no ano de 2007 um acordo de Cooperação, junto ao Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), sobre pesagem em movimento

(Weigh-in-Motion – WIM). No ano de 2013, essa cooperação resultou no modelo de pesagem nomeado de Posto Integrado Automatizado de Fiscalização (PIAF) (SHINOHARA et al., 2016). O modelo PIAF contempla uma Estação de Controle em Pista (ECP), utilizando a tecnologia WIM, um posto de fiscalização com a medição de precisão, um controle de fuga de veículos, que em conjunto com o Centro de Controle de Operações (CCO), realizam a fiscalização automatizada.

O sistema de pesagem WIM, atua como um conjunto de sensores e instrumentos de suporte capazes de detectar a presença e as forças dinâmicas dos veículos em locais específicos em relação ao tempo, segundo definição da ASTM E1318

(2017). O sítio de instalação dos sensores, para que haja êxito na fiscalização dos veículos e obtenção de dados confiáveis durante a pesagem, é regulamentado pela especificação europeia COST 323 (2002) que indica os parâmetros necessários para a geometria da via para o bom desempenho mecânico dos pavimentos. A partir dos sensores WIM, também é possível calcular a velocidade, cargas dos pneus, espaçamento e distância entre os eixos dos veículos e classificá-los de acordo com a categoria. Diante disso, o presente artigo trata da construção de uma estrutura de pavimento asfáltico espesso destinada à instalação de sensores WIM que atende as especificações do PIAF, contemplando o COST 323 (2002), para garantir a acurácia dos dados coletados ao longo do tempo e êxito na fiscalização do excesso de peso.

## 2. PAVIMENTOS PROJETADOS PARA SISTEMAS DE PESAGEM WIM

Como os sensores de pesagem em movimento são instalados diretamente na superfície do pavimento, necessitam que este apresente capacidade resistente satisfatória para o bom desempenho do sistema. Prévia à instalação, é necessário que o pavimento seja dimensionado considerando a aplicação dos sensores, uma vez em que particularidades possam ser definidas em função do monitoramento de outras camadas além do revestimento. É de grande interesse que o comportamento das demais camadas do pavimento sejam monitoradas ao longo da execução para que os dados posteriormente coletados possam ser avaliados.

Os pavimentos destinados aos sistemas de pesagem WIM devem satisfazer condições normativas quanto à condição da superfície. O COST 323 (2002) classifica os sítios de pesagem segundo os valores de deformação por trilha de roda, deflexão e irregularidades no pavimento. A classificação está dividida em três níveis I, II e III, que correspondem a excelente, bom e aceitável, respectivamente. Para cada classe, o pavimento deve satisfazer condições específicas, apresentadas na Tabela 1.

As características do pavimento podem influenciar diretamente no resultado da medição dos sistemas de pesagem em movimento. Assim, não somente a irregularidade longitudinal, como também a deterioração (trilhas de rodas, deformações permanentes), limitam a exatidão das medidas. As trincas, deflexões e a irregularidade, por sua vez, podem reduzir a durabilidade dos sensores WIM e, então, afetar as respostas dos mesmos (OTTO et al., 2017).

**Tabela 1: Especificação de condições do pavimento. Fonte: Adaptado de COST (2002)**

Características do Pavimento	Classe I	Classe II	Classe III
Inclinação longitudinal	< 1,0%	< 2,0%	< 2,0%
Inclinação transversal	< 3,0%	< 3,0%	< 3,0%
Deflexão máxima 8,2 t (10-2 mm)			
Pavimento semirrígido	9,0 ± 2,0	13,0 ± 3,0	19,0 ± 6,0
Pavimento asfáltico espesso	13,0 ± 3,0	22,0 ± 5,0	32,0 ± 8,0
Pavimento flexível	19,0 ± 4,0	32,0 ± 6,0	47,0 ± 9,0
Raio de curvatura		> 1.000 m	
Profundidade da trilha de roda	≤ 4,0 mm	≤ 7,0 mm	≤ 10,0 mm

A natureza dos sensores de pesagem em movimento varia entre diferentes tecnologias. Geralmente para este tipo de aplicação os sensores podem ser cerâmicos, polímeros, de quartzo, ópticos etc. Cada tipo de sensor apresenta técnicas específicas para instalação, estas devem ser seguidas de modo a não comprometer o desempenho do sistema e a atuação individual de cada um dos sensores.

## 3. MÉTODO DE PROJETO E EXECUÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO ESPESSE (PCAE)

O pavimento de concreto asfáltico espesso (PCAE), foi construído em um segmento rodoviário de 120 metros, com duas faixas de rolamento, no sentido sul da BR-101, km 418+440, próximo ao município de Araranguá, no Estado de Santa Catarina. O local de instalação do sítio de pesagem foi determinado conforme recomendações COST 323 (2002) e satisfaz as condições da Classe I, com inclinação longitudinal menor que 1,0%; inclinação transversal menor que 3,0%; e com raio de curvatura maior que 1.000 metros.

### 3.1. Projeto e dimensionamento do pavimento de concreto asfáltico espesso (PCAE)

A elaboração do projeto e do dimensionamento do PCAE foi realizada com o objetivo de satisfazer as condições do COST 323 (2002) e também de forma em que o pavimento executado desempenhasse função satisfatória durante toda sua vida útil. O dimensionamento preliminar do pavimento, foi obtido através do catálogo de estruturas rodoviárias francês do Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC, 1998). Neste dimensionamento, as estruturas são dependentes do tipo de fundação onde será implantada a rodovia e do volume de tráfego incidente. Além disso, é necessário o conhecimento do módulo dos materiais utilizados e da deflexão máxima aceitável ao pavimento para implantação de sítios de pesagem WIM.

Para o dimensionamento, foram consideradas as seguintes variáveis: (i) estrutura de pavimento para redes de vias estruturantes; (ii) base tratada com ligante; (iii) plataforma de suporte de classe 3 (PF3) de 120 Mpa; e (iv) frota de veículos pesados de 30 milhões de passagens de eixo (TC7). Após a consideração destas variáveis, a estrutura, foi determinada a estrutura do PCAE, apresentada pela Figura 1

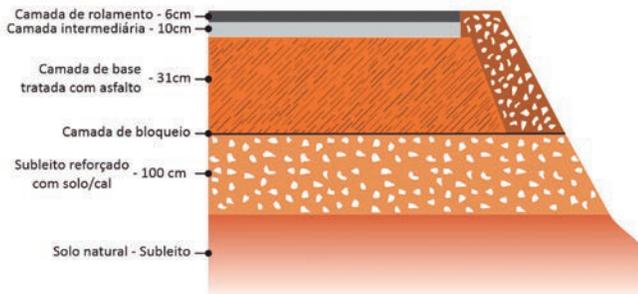


Figura 1: Dimensionamento das camadas do PCAE

O software *ViscoRoute®* foi utilizado para gerar as tensões e deformações ocorridas dentro da estrutura em análise, considerando o comportamento viscoelástico e termo suscetível dos materiais, além da solicitação por cargas em movimento. Os parâmetros de viscoelasticidade utilizados correspondem ao modelo de Huet-Sayegh. Este modelo utiliza como variáveis: (i) módulo elástico infinito (*Einf*), (ii) as expoentes de forma (*k* e *h*), (iii) os parâmetros do princípio da Equivalência Tempo Temperatura (*A0*, *A1* e *A2*) e (iv) a temperatura  $\theta$ , todas as variáveis consideradas são apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2: PARÂMETROS PARA CÁLCULO DAS DEFORMAÇÕES PELO SOFTWARE *VISCOROUTE®*

Camadas	Espes (m)	Módulo E <sub>inf</sub> (MPa)	Coef. de Poisson	Parâmetros Viscoelástico do modelo de Huet-Sayegh						
				E <sub>0</sub> (Mpa)	$\theta$ (°C)	k	h	A0	A1	A2
Rolamento	0,06	11,000	0,35	111,69	25	0,155	0,532	0,190	0,232	0,00071
Intermediária	0,10	14,000	0,35	111,69	25	0,155	0,532	0,190	0,232	0,00071
Base tratada	0,31	9.000	0,35	125,40	25	0,782	0,782	1,453	0,229	0,00050
Ref. subleito	1,00	120	0,40	-	-	-	-	-	-	-
Subleito	Inf.	100	0,40	-	-	-	-	-	-	-

Através do software *ViscoRoute®*, além do dimensionamento também foram obtidas as deflexões máximas esperadas em função da rigidez dos materiais constituintes das camadas. Com o objetivo de estimar os possíveis módulos reais, a ser verificado em campo com os controles tecnológicos, foram calculados os valores de deflexão, com carga de carga 8,2t, para diferentes módulos. A temperatura utilizada no dimensionamento foi de 25°C. Considerando um módulo mínimo de 120 MPa, para rodovias com alto volume de tráfego, atingiu-se a deflexão máxima no topo do reforço do subleito de 80 x 10-2 mm. A Tabela 3

apresenta os valores estimados de deflexões para cada uma das camadas do pavimento.

TABELA 3: ANÁLISE DA DEFLEXÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL DO PAVIMENTO

Camada	Módulo Elástico (MPa)	Deflexão máxima esperada (10-2mm)
Reforço do subleito	$\geq 120$	$\leq 80,10$
Base tratada	$\geq 9.000$	$\leq 51,10$
Intermediária	$\geq 14.000$	$\leq 42,10$
Rolamento	$\geq 9.000$	$\leq 40,10$

Os valores simulados pelo software serviram como referência para acompanhamento do comportamento do pavimento através de análise conjunta com os dados obtidos em campo.

### 3.2. Execução das camadas do pavimento de concreto asfáltico espesso (PCAE)

Para a formulação das misturas que compõem as camadas da estrutura do pavimento, duas curvas granulométricas foram utilizadas como limites. A primeira curva determinada por Quintero (2011) e a segunda curva seguiu os estudos de Almeida (2013). O ligante asfáltico utilizado é modificado por polímero elastômero do tipo styrene-butadiene-styrene, (SBS). A estimativa inicial do teor de ligante asfáltico das misturas seguiu recomendações do manual de formulação de misturas betuminosas LCPC (2007).

A metodologia Marshall foi utilizada para determinar o teor de ligante de projeto a ser utilizado em cada uma das camadas, sendo: (i) a camada de base tratada com 4,0%, (ii) a camada intermediária com 5,0% e (iii) a camada de rolamento com 4,7% de ligante asfáltico do tipo SBS. Decorrido o dimensionamento da estrutura, as camadas foram executadas de modo a satisfazer o projeto.

#### 3.2.1. Camada de subleito reforçado com cal hidratada

Para a construção do PCAE o pavimento, existente no local do novo sítio de pesagem, foi removido para que fossem executadas as camadas conforme o dimensionamento. Após a remoção, a primeira camada executada foi um reforço de 50 cm no subleito existente utilizando cal hidratada. Esse reforço foi realizado de modo a melhorar algumas propriedades do solo, como capacidade de suporte, expansão e contração.

Durante a execução, o controle da umidade foi verificado

e a compactação ocorreu na umidade ótima de 12,2%. O aumento na resistência da mistura solo-cal é adquirido de forma gradativa. Assim, no decorrer da execução das demais camadas esta mistura segue em processo de cura e com aumento de resistência, até que atinja sua estabilização.

A sequência da execução consistiu na intercalação de camadas de 25 cm de solo-cal e homogeneização do reforço na umidade ótima. Uma camada de bloqueio foi executada sobre o subleito reforçado, conforme a especificação de serviço DNIT ES152 (2010) Esta camada teve de ser realizada para que fosse possível a verificação das deflexões com a viga Benkelman.

### 3.2.2. Camada de base tratada com ligante asfáltico SBS

Para a camada de base tratada com ligante asfáltico a curva granulométrica de Almeida (2013) foi utilizada. O teor de ligante asfáltico do tipo SBS utilizado para este tratamento foi de 4,0%. Conforme o dimensionamento, a camada de base tratada apresenta 31 cm de espessura, assim o processo de compactação foi dividido em três etapas com espessuras de 10 cm, 10 cm e 11 cm, respectivamente. A divisão das espessuras da compactação foi realizada de modo em que o grau de compactação fosse atingido de forma satisfatória. Os módulos dos materiais são baseados nos experimentos e trabalhos de Almeida (2013) e Quintero (2011).

### 3.2.3. Camada intermediária de módulo elevado

A camada intermediária, localizada abaixo da camada de revestimento, tem a função de distribuir as tensões recebidas durante a passagem dos pneus dos veículos e deve apresentar segundo COST 323 (2002), a espessura mínima de 10 cm. Sua execução deve ser realizada de forma criteriosa uma vez que a camada intermediária é destinada a assegurar a intensidade do elevado volume de tráfego e dissipar os esforços para as camadas inferiores do pavimento. Como forma de apresentar módulo elevado e assim garantir a eficácia do sítio de pesagem, a curva granulométrica da camada intermediária com 10 cm de espessura foi determinada por Quintero (2011). O teor de ligante SBS de projeto da camada foi de 5,0%, determinado conforme metodologia Marshall.

### 3.2.4. Camada de revestimento

A camada de revestimento foi executada em mistura asfáltica com 4,7% de ligante SBS. A espessura de 6,0 cm foi executada vista a necessidade de nivelamento com a estrutura de pavimento existente no restante da rodovia. Essa espessura foi definida em função do tipo de sensor que será instalado na superfície do pavimento, uma vez que os

sensores de pesagem WIM apresentam dimensões em média de 4,0 cm. Entre todas as camadas foram executadas a pintura de ligação utilizando emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida do tipo 2 (RR-2C).

## 4. ANÁLISE E RESULTADOS

Este capítulo discorre sobre análise e resultados de controle tecnológico do pavimento, contemplando as medidas e os resultados de deflexões, por viga Benkelman, em diferentes camadas de pavimento e as medidas e resultados de ATR (Afundamento de Trilha de Roda).

### 4.1. Controle de deflexão utilizando viga Benkelman

De acordo com a norma DNER-PRO 011 (BRASIL, 1979), a verificação da deflexão depende dos materiais constituintes das camadas de base e de revestimento do pavimento e do número N de solicitações equivalentes do eixo padrão de 8,2 ton. Conforme recomendações normativas, o controle da deflexão admissível foi realizado após a finalização de cada uma das camadas executadas, devendo apresentar valor abaixo do valor admitido por norma.

Para as leituras de deflexão foi utilizado o equipamento viga Benkelman, preconizado pela norma DNER-ME 024 (DNER, 1994). Os valores obtidos para cada uma das camadas foram comparados com as deformações previstas em dimensionamento. A Tabela 4, apresenta os resultados das médias das deflexões sobre a camada de reforço do subleito, camada de base tratada com ligante, camada intermediária e camada de rolamento. Estes resultados foram confrontados juntamente a norma DNER-PRO 011 (BRASIL, 1979), através da equação disponibilizada.

TABELA 4: DEFLEXÕES MÉDIAS NAS CAMADAS DO PCAE

Deflexão Média nas Camadas do PCAE (10 <sup>-2</sup> mm)					
Nº	Estacas	Reforço do subleito	Base Tratada	Intermediária	Rolamento
1	418+550	126	30	19	14
2	418+540	108	27	21	16
3	418+530	98	26	23	20
4	418+520	123	28	18	16
5	418+510	122	27	20	16
6	418+500	67	32	22	18
7	418+490	136	24	22	20
8	418+480	122	27	19	17
9	418+470	93	27	17	16
10	418+460	107	29	20	19
11	418+450	95	33	22	19
12	418+440	-	29	16	20
Média		109	28	20	18
Desvio Padrão		19,7	2,5	2,2	2,0

Como forma de representação dinâmica, os resultados das médias das deflexões sobre a superfície das diferentes camadas do PCAE são apresentados na Figura 2. A partir desta, é possível acompanhar a variação das deflexões ao

longo das estacas do trecho e em cada uma das camadas executadas. Os valores médios de deflexão de campo de cada camada foram comparados com os valores de deflexões obtidos no dimensionamento do *ViscoRoute*®. A Tabela 5 apresenta estes valores de forma confrontada.

Com base nos resultados apresentados das médias das deflexões em campo e das deflexões simuladas, nota-se que a única camada que apresentou deflexão maior do que a simulada foi o subleito reforçado com cal. Especificamente sobre esta camada, a reação solo-cal tende a aumentar a resistência ao longo do tempo, e assim, provavelmente no momento da leitura da deflexão a mistura não tinha atingido o máximo de cura e elevada resistência. Entretanto, como o processo se dá com o passar dos meses, a medida em que as demais camadas foram executadas, a mistura continuou adquirindo resistência e atingindo a deflexão admissível no momento de abertura ao tráfego.

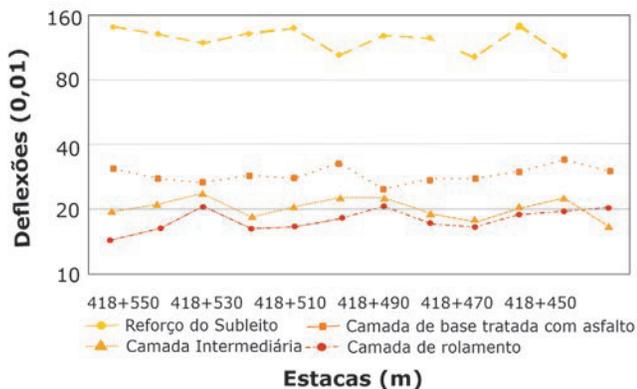


Figura 2: Variação das deflexões nas camadas do PCAE

TABELA 5: VALORES DE DEFLEXÃO ESTIMADOS X OBTIDOS EM CAMPO

Camada	Deflexão Simulado (0,01 mm)	Deflexão Campo (10-2 mm)
<b>Reforço do subleito</b>	≤ 80,10	109
<b>Base tratada</b>	≤ 51,10	28,0
<b>Intermediária</b>	≤ 42,10	20,0
<b>Rolamento</b>	≤ 40,10	18,0

As demais camadas apresentaram resultados das deflexões dentro dos valores dimensionados e limites admissíveis, visto que os valores foram inferiores aos valores máximos dimensionados pelo software e recomendados pela especificação COST 323 (2002).

#### 4.2. Controle do Afundamento de Trilha de Roda (ATR)

O afundamento de trilha de roda é um dos requisitos preconizado na Classe I do COST 323 (2002), em que a superfície do pavimento deve atender para que

seja implementada o sítio de pesagem em movimento. O monitoramento do afundamento de trilha de roda é importante, uma vez pode indicar certa deficiência do pavimento e assim, comprometer seu desempenho e do sistema de pesagem em movimento.

Desta forma, o ATR no PCAE foi monitorado durante o desenvolvimento da estrutura. As leituras foram realizadas utilizando a treliça metálica e sob preconizações da norma DNIT-PRO 007 (BRASIL, 2003). A leitura de ART foi realizada a cada 10 metros, nas trilhas de roda interna e externa da pista. A Figura 3 apresenta valores médios de ATR obtidos após a construção.

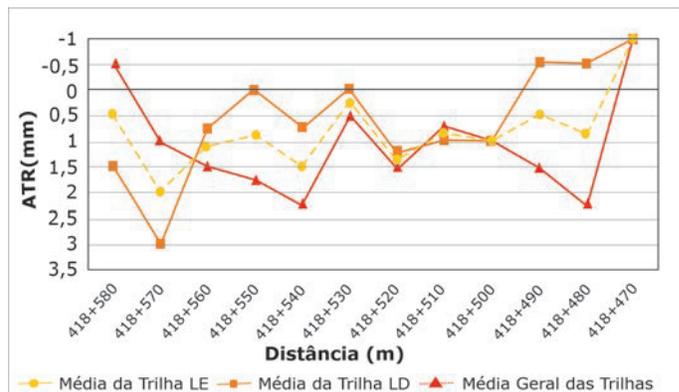


Figura 3: Variação de ART na pista do PCAE

Como resultado tem-se que os valores de ATR máximos obtidos satisfazem as condições impostas pelo COST 323 (2002) para a implementação de um sítio de pesagem em movimento em uma estrutura de PCAE. Com valores médios de 2,0 mm, o valor máximo recomendado, que é de 4,0 mm, foi mantido.

### 5. APLICAÇÃO DOS SENSORES WIM NO PCAE

Como intuito de monitorar todas as camadas do PCAE, além do controle deflectométrico após a construção, em cada uma das camadas executadas foram instalados sensores para acompanhamento de desempenho das camadas com o decorrer da vida de projeto do pavimento. Além dos sensores de pesagem instalados no revestimento, foram instalados de sensores de deformação (strain gauges) nas demais camadas, uma célula de pressão também foi instalada sobre a camada de subleito reforçado A Figura 4 apresenta a tipologia e posição de cada um dos sensores instalados no PCAE.

Na fibra inferior da camada intermediária de alto desempenho foram instalados quatro sensores, sendo dois para a medição de sinais de deformação horizontal longitudinal e dois de deformação horizontal transversal. O

posicionamento destes quatro sensores foi repetido no topo da camada de reforço do subleito, que também recebeu a instalação de uma célula de pressão, além de mais dois sensores de deformação que irão captar os sinais de deslocamento vertical.

Para que fosse realizada a pesagem dos veículos pelo sistema WIM, além destes sensores foram instalados dois laços indutivos antes e depois do posicionamento dos sensores cerâmicos e poliméricos. A Figura 5 apresenta a posição em pista de cada um dos sensores instalados no PCAE bem como o sentido do tráfego e a forma com que ocorre a pesagem dos veículos de forma dinâmica.

É importante ressaltar que a metodologia de instalação utilizada teve como objetivo a menor intervenção possível no pavimento e em suas camadas. Desta forma, a instalação dos sensores de deformação e da célula de pressão ocorreram durante o processo de construção do PCAE. Desta forma, foram anuladas as possíveis intervenções posteriores no pavimento, não sendo necessário o corte e assim evitando danos precoces na estrutura.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do PCAE teve como objetivo a implementação de um sistema WIM em um sítio de pesagem pioneiro do Brasil e desta forma, foram seguidas todas as recomendações normativas. Este sistema WIM impôs a construção do PCAE e seu elevado controle tecnológico. As recomendações da Classe I do COST 323 (2002) foram utilizadas como norteadoras do processo de execução do PCAE bem como o projeto do Posto Integrado Automatizado de Fiscalização (PIAF) do governo nacional. Este norteamento

teve como objetivo a diminuição da manutenção constante dos pavimentos rodoviários devido ao excesso de peso, vislumbrando assim o aumento da fiscalização automatizada através da tecnologia de pesagem WIM. Neste contexto, para que os dados coletados sejam confiáveis, é de extrema importância que a estrutura que dará suporte ao sistema, ou seja, o pavimento, seja cuidadosamente selecionado, executado e acompanhado ao longo do tempo.

Verificações como as deflexões admissíveis das camadas foram obtidas logo após a construção em cada camada e enquadraram-se nos valores determinados pelo COST 323 (2002) e simulados no software ViscoRoute®. O controle do ATR da pista mais solicitada também apresentou valores satisfatórios quando referenciadas as normativas.

Por fim, a conclusão de projeto e execução do PCAE foi tida como satisfatória uma vez em que todos os requisitos normativos foram atendidos. A manutenção do sistema de sensores permanecerá sob constante avaliação e após período satisfatório de campo, estes dados serão tratados e apresentados como forma de caracterizar cada uma das camadas do PCAE.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans), pelo acesso aos dados dos estudos e pesquisas.

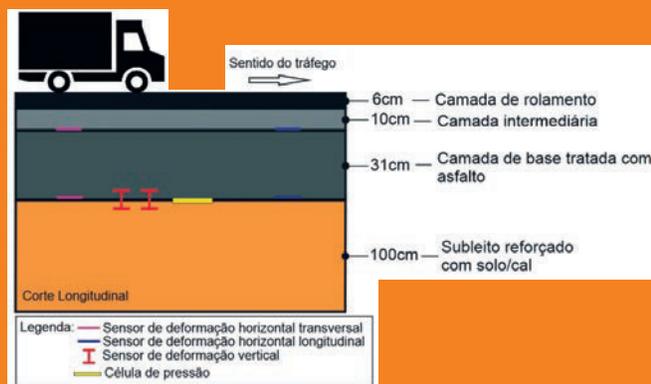


Figura 4: Corte longitudinal do posicionamento dos sensores

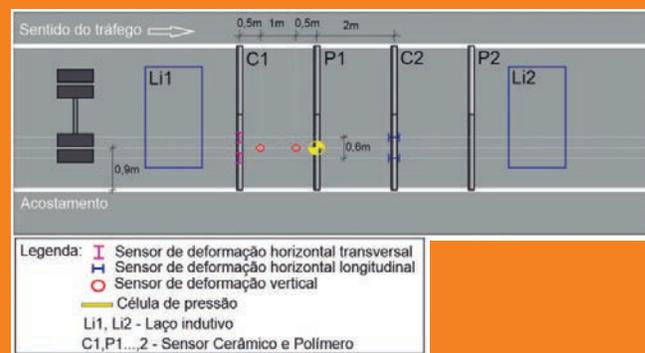


Figura 5: Projeto de instalação dos sensores WIM no PCAE

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. J. D. (2013). *Comportamento mecânico de misturas asfálticas com aplicação dos aditivos PR PLAST S e PR FLEX 20 no módulo complexo e na fadiga*. ASTM (2009). E1318-09 - Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bosso, et al. (2016). *Weigh-in-motion system to monitoring overloading in a brazilian heavy traffic highway*. In 7th International Conference on WIM, Foz do Iguaçu, Brasil.
- BRASIL (1979). DNER-PRO 011 - *Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasil.
- BRASIL (1994). DNER-ME 024. *Pavimento – Determinação das deflexões pela viga Benkelman. Método de Ensaio*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasil.
- BRASIL (2003). DNIT-PRO 007. *Levantamento para avaliação da condição de superfície de subtrecho homogêneo de rodovias de pavimentos flexíveis e semi-rígidos para gerência de pavimentos e estudos e projetos*. Procedimento. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasil.
- BRASIL (2010). DNIT- ES 152. *Pavimentação – Macadame hidráulico*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasil.
- BRITO, L., BOCK, A. L., CERATTI, J. A. P., & NÚÑEZ, W. P. (2014). *Sistema de Pesagem em Movimento– WIM: Instalação e Calibração em Pista Experimental para Monitoramento e Classificação do Espectro de Cargas Rodantes da BR-290/RS-Freeway*. Revista de Engenharia Civil IMED, 1(1), 29-41.
- COST 323 (2002). *Weigh in motion of road vehicles*. Final Report, Appendix 1 European WIM Specification. LCP publication, Paris.
- KISHORE, A., & KLASHINSKY, R. (2000). *Prevention of Highway Infrastructure Damage through Commercial Vehicle Weight Enforcement*. In Annual Indian Roads Congress (pp. 4-7).
- LCPC (1998). *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Catalogue des structures types de chaussées neuves*. Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). Paris.
- LCPC (2007). *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés*. Paris.
- OTTO, G. G., SIMONIN, J. M., PIAU, J. M., COTTINEAU, L. M., CHUPIN, O., MOMM, L., & VALENTE, A. M. (2017). *Weigh-in-motion (WIM) sensor response model using pavement stress and deflection*. Construction and Building Materials, 156, 83-90.
- QUINTERO, C. F. Q. (2012). *Estudo de misturas asfálticas com ligantes de consistência elevada: formulação e comportamento mecânico*.
- RYS, D., JUDYCKI, J., & JASKULA, P. (2016). *Analysis of effect of overloaded vehicles on fatigue life of flexible pavements based on weigh in motion (WIM) data*. International Journal of Pavement Engineering, 17(8), 716-726.
- SHINOHARA, ET AL. (2016). *Brazilian PIAF model and the direct enforcement project, 7th International Conference on WIM*. In 7th International Conference on WIM, Foz do Iguaçu, Brasil.

