



## DIMENSIONAMENTO E CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS PARA FISCALIZAÇÃO DE EXCESSO DE PESO PELO SISTEMA WIM

KEYLA JUNKO CHAVES SHINOHARA<sup>1</sup>, EMMANUELLE STEFÂNIA HOLDEFER GARCIA<sup>2</sup>, GUSTAVO GARCIA OTTO<sup>3</sup>, ADOSINDRO JOAQUIM DE ALMEIDA<sup>4</sup>, AMIR MATTAR VALENTE<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Transporte e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, keylajunko@gmail.com

<sup>2</sup> Laboratório de Transporte e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, emmanuelle.holdefer@gmail.com

<sup>3</sup> Laboratório de Transporte e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, otto.gus@gmail.com

<sup>4</sup> Laboratório de Transporte e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, adosindro@gmail.com

<sup>5</sup> Laboratório de Transporte e Logística, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, amir.labtrans@gmail.com

### Resumo

Os pavimentos rodoviários são projetados e executados a partir de manuais e especificações considerando a estrutura de suporte existente e o tráfego futuro que passará na rodovia. A vida útil desse pavimento está vinculada à carga transportada por cada tipo de veículo considerado no projeto e, para que esse pavimento tenha a durabilidade esperada, surge a necessidade da fiscalização de excesso de peso. Para a obtenção de dados confiáveis de pesagem, é essencial o uso de tecnologias, como por exemplo, o sistema de pesagem em movimento (*Weigh in Motion* – WIM). Sensores específicos para essa finalidade são instalados em pavimentos para sistema WIM que devem atender os critérios de aceitação estabelecidos pelas recomendações mundiais, como COST 323, ASTM E1318-09, YONA, INMETRO e OILM R 134-1. Diante deste cenário, este trabalho apresenta como objetivo, o dimensionamento e execução de um pavimento asfáltico especial destinado à instalação de sensores para sistema WIM. Ao final, o pavimento construído no sítio de testes WIM no sul do Brasil foi submetido às classificações das especificações supracitadas e executado conforme COST 323 se sobressaiu. Atualmente, essa pista de testes continua coletando dados para acompanhamento e auxílio na fiscalização dos órgãos competentes.

**Palavras Chaves:** Pavimento Asfáltico, Dimensionamento, WIM, Excesso de Peso, Especificações WIM.



CONGRESO  
IBERO (LATINOAMERICANO)  
DEL ASFALTO



13° Congreso de la  
Vialidad Uruguaya

## 1 Introdução

A sobrecarga de veículos pesados causa impactos negativos no sistema rodoviário, no que diz respeito aos usuários da rodovia, à infraestrutura do pavimento e à concorrência de mercado. Quanto à segurança dos usuários, há redução da eficácia em manobras defensivas em situações de emergência e na realização de ultrapassagens perigosas, podendo provocar acidentes. Quanto aos danos ao pavimento e estrutura rodoviária, a sobrecarga é responsável por desgaste acentuado na camada de revestimento do pavimento. Consequentemente há acréscimo no aparecimento de defeitos como o afundamento da trilha de roda e o acúmulo de água sobre as pistas, nestas regiões. Esta aceleração na manifestação e propagação de danos na superfície do pavimento, compromete seu desempenho estrutural e acarreta maior dispêndio de recursos em menor intervalos de tempo. Segundo Kishore e Klashinsky [1] 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% [2]. De modo geral, o excesso de peso em veículos pesados no Brasil varia de 9% a 12% [3] [4].

Do ponto de vista de Mercado, a precificação torna-se injusta com os veículos com carregamento legal, visto que a sobrecarga obtém mais lucro ou reduz os preços conforme beneficiamento pela carga extra. Estas consequências afetam diretamente o usuário e podem ser minimizadas através da efetiva fiscalização de cargas do trecho. Influenciam também no aumento dos custos com reparos e manutenção da infraestrutura da rodovia e na redução da qualidade dos níveis de serviços e fluxo livre da pista. Além disso, a sobrecarga é responsável pela redução na vida útil de tecnologias utilizados na fiscalização e na pesagem de veículos, como os sensores.

Para efetivo controle da sobrecarga em veículos pesados, a fiscalização do peso bruto total (PBT) e peso por eixo, faz-se essencial. Este controle é realizado por meio de balanças, instaladas em postos de pesagem veicular (PPV), que tem recebido melhorias e modernização do sistema visando menos impactos aos usuários dos veículos leves. A pesagem por balanças estáticas, impacta diretamente no trânsito do local, uma vez que todos os veículos estão sujeitos a sucessivas paradas, seja para que os veículos pesados se desloquem ao posto, seja pela redução de velocidade solicitada na área da balança.

A otimização destes sistemas proporciona maior fluidez e segurança ao tráfego, aliados ao controle eficaz do peso dos veículos. O sistema de pesagem em movimento (*Weigh-in-Motion*, WIM) é capaz de coletar os dados dos veículos, na velocidade diretriz da via. Recomenda-se que o sistema WIM seja instalado em segmentos de rodovias com características que não prejudiquem a coleta de dados durante as atividades de pesagem e que garantam, juntamente com os equipamentos, a precisão de resultados.

Dada a preocupação em fiscalizar com maior eficiência os veículos e preservar o patrimônio, o Brasil atualmente segue o estudo e desenvolvimento de tecnologias de sistemas WIM. Entretanto, a implementação destes sistemas não pode ser realizada sem a completa fundamentação das componentes envolvidas. Assim, visto que o Brasil não possui ainda uma metodologia própria de instalação e monitoramento para pesagem em movimento, tem-se buscado maior entendimento das especificações mundiais e suas constantes adequações. Inicialmente, estas regulamentações têm sido implementadas no país e seu monitoramento e resultados, responsável pela delimitação dos critérios analisados. Diante disso, o presente artigo trata dos critérios das especificações disponíveis para o dimensionamento e execução de uma estrutura de pavimento asfáltico destinado ao sistema WIM, garantindo a acurácia dos dados e o êxito na fiscalização do excesso de peso.

## 2 Histórico de pesagem em movimento no Brasil e no mundo



No Brasil, os primeiros estudos sobre WIM ocorreram no ano de 2007 através de uma cooperação entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), através do Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans). O objetivo foi o de testar e de validar as tecnologias WIM e de prover embasamento para a aplicação legal da fiscalização do sobrepeso. Ao longo dos anos, diversas pesquisas sobre o tema foram desenvolvidas mundialmente por diversas instituições e nacionalmente pelo LabTrans, apresentadas na linha do tempo da Figura 1.

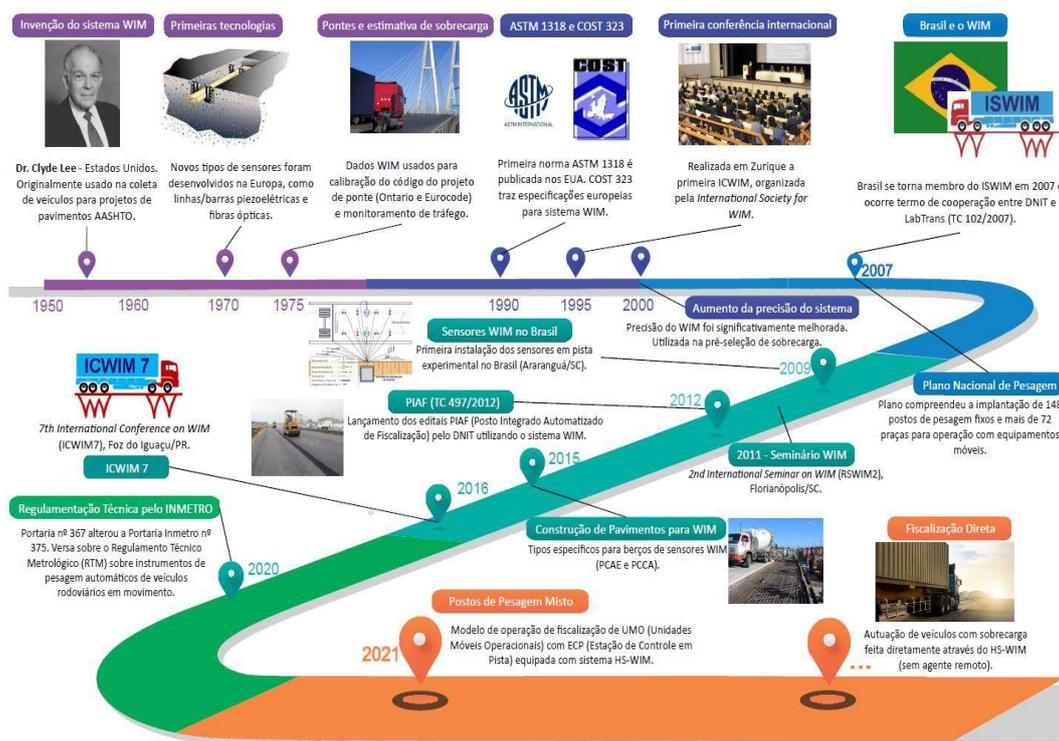


Figura 1. Linha do tempo da evolução da tecnologia WIM

A evolução dos sistemas WIM ocorreu de forma significativa desde 2007, evidenciando o destaque para o Brasil, quanto às pesquisas e implantações. Entretanto, os métodos de dimensionamento de pavimentos seguem utilizando as normas da década de 1970, o que não satisfaz o alto tráfego incidente. O aumento na capacidade de carga dos veículos tem despertado mundialmente a necessidade do monitoramento da segurança na infraestrutura rodoviária. No Brasil, estes valores tiveram a última atualização no ano de 2007, por meio do Quadro de Fabricantes de Veículos [5]. Desde então, mesmo com a introdução de novos tipos de veículos transportadores de cargas no mercado, aumento do tráfego e modificações ocorridas na legislação de trânsito, nenhuma atualização foi realizada.

Um dos exemplos quanto a esta desatualização de cargas, dá-se pelo CONTRAN [6], que apresenta que o comprimento máximo para combinações de veículos de carga (CVC) seja de 30 metros e o PBT combinado máximo de 57 toneladas. Atualmente, devido aos avanços tecnológicos, estas cargas e comprimento são ultrapassadas, por exemplo, para a construção de hidrelétricas, onde é necessário o transporte de peças como reatores e motores. Esse transporte de cargas elevadas necessita de veículos com capacidade de transporte. Assim, utilizar os



métodos de dimensionamento para cargas da década de 1970 não satisfaz as necessidades da rodovia e da frota, além de que pode indicar um pavimento que não resista até o final da vida útil de projeto.

## 2 Pavimento para sistemas WIM

A implementação de pavimentos destinados ao sistema WIM deve ser realizada de forma cautelosa e sob observação de alguns aspectos na rodovia [7], sendo a geometria que não deve induzir efeitos dinâmicos adversos aos veículos como, falta de estabilidade, trepidação, aceleração ou desaceleração. Os locais que possuam trechos com mudança de faixa ou tráfego não devem impor ao veículo situações de “parada/arrancada”, ultrapassagem, sinalização e cruzamentos, saídas e alterações de limite de velocidade. As estruturas de pavimentos não devem estar comprometidas ou estruturalmente frágeis, com superfícies ásperas e com defeitos aparentes.

Considerando estas recomendações, o dimensionamento para sistemas WIM pode ser realizado considerando pavimentos flexíveis, com misturas asfálticas, ou pavimentos rígidos, com concreto hidráulico. A definição do tipo de pavimento, varia de acordo com o local de instalação do sistema e também das variáveis envolvidas no processo, como disponibilidade de material, solo da região, locação da obra e treinamento de equipe.

### 2.1 Pavimentos flexíveis

O dimensionamento dos pavimentos asfálticos pode ocorrer conforme o método do DNIT [8], que tem como base conclusões obtidas na pista AASHTO [9]. Em relação aos materiais integrantes do pavimento, são adotados coeficientes de equivalência estrutural e a capacidade de suporte dos materiais é realizada pelo CBR. O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão, durante o período de projeto escolhido.

Modelos de previsão de desempenho do tipo mecanístico-empírico, consideram no dimensionamento o trincamento por fadiga das camadas asfálticas, afundamento da trilha de rodas e porcentagem da área trincada ao final da vida útil de serviço [8]. O Brasil segue o desenvolvimento de um método próprio denominado Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa), capaz de realizar a verificação do dimensionamento de estruturas de pavimentos por meio da análise de múltiplas camadas. As instalações de sistemas WIM são realizadas em pavimentos asfálticos devido à alta utilização deste tipo no país, pois correspondem a 95% de toda a malha pavimentada [10].

### 2.2 Pavimentos rígidos

A utilização do pavimento rígido em sítios WI é considerada em algumas especificações, como a OIML R-134-1 [11]. Porém torna-se inviável para o Brasil definir este como padrão para os trechos WIM, primeiramente pelos custos envolvidos entre construção e manutenção. O custo de manutenção do pavimento rígido torna-se maior uma vez que para a manutenção, é necessária a troca da placa de concreto por inteira, frente às manutenções pontuais realizadas em pavimentos flexíveis.

Para a execução de um pavimento rígido são utilizados equipamentos e máquinas de obra diferentes dos flexíveis, encarecendo os custos de mobilização. Além disso, a indústria



cimentícia brasileira é voltada para construção civil, o que pode encarecer e dificultar a disponibilidade do material em algumas regiões brasileiras. Como apontam os dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC), as parcelas do concreto e do cimento consumidos pelas construtoras brasileiras direcionadas às obras rodoviárias e viárias urbanas foram de somente 15% do total produzido, no ano de 2016 [12].

### 3 Tipos de sensores utilizados em sistemas WIM

Os sensores utilizados em sistemas WIM, são instalados na camada de revestimento do pavimento, visto o contato direto com o pneu dos veículos e área de maior pressão. Estes, são responsáveis pela coleta de informações dos veículos, como configuração de espaçamento entre os eixos e respectivas cargas, bem como identificação e classificação quanto às normativas. Para que desempenhem perfeita função, além das camadas adjacentes, o revestimento dos pavimentos deve atender às especificações mecânicas e também comportar os sensores de maneira eficaz.

Devido à variabilidade dos tipos de sensores, sua espessura deve ser considerada durante a fase de projeto dos pavimentos, para que todas as camadas sejam projetadas com estas informações. Por vezes, pavimentos delgados não satisfazem estas condições, fazendo necessário o projeto com camadas espessas, de modo a atuar de forma conjunta na resistência e durabilidade do pavimento, bem como no correto posicionamento dos sensores em seu interior. A espessura do revestimento deve comportar de forma satisfatória o sensor instalado, sendo que estes geralmente apresentam espessuras variando de 2 cm a 8 cm.

O tipo do pavimento, também deve ser projetado e executado de forma compatível ao tipo de sensor utilizado no sistema WIM. Por exemplo, sensores do tipo *bending plate* e células de cargas devem ser instalados em pavimentos de concreto asfálticos. Por sua vez, os sensores como os polímeros apresentam maior flexibilidade no tipo de pavimento em que seu sítio pode ser instalado. Existem diversos tipos de sensores e cada um deles atua de uma maneira quanto à coleta de dados de pesagem durante a fiscalização. A Figura 2 apresenta de forma geral os tipos de sensores instalados em rodovias e destinados à fiscalização por excesso de carga em sítios WIM.



Figura 2. Tipos de sensores instalados em rodovias.

Deve-se ter cautela para que a profundidade dos sensores não atinja valores superiores a 75% da profundidade da camada de revestimento. O não atendimento dessa consideração conduz à redução de vida útil do projeto e à menor precisão de resultados do sistema. Esta camada deve ser ausente de desgastes consideráveis, sendo, preferencialmente, parte de uma nova construção

ou de uma rodovia que possua um plano de reabilitação para o pavimento, pois trabalhos de reconstrução e de recuperação do segmento não devem ser antecipados ou planejados antes dos 5 anos (vida útil média do sensor WIM) visando à economia do projeto.

### 2.3 Dimensionamento para instalação de sistema WIM

Para exemplificar um pavimento para instalação de sistemas WIM, uma pista de testes de 120 metros, foi executada em pavimento asfáltico espesso em uma rodovia de alto volume de tráfego no sul do Brasil. O dimensionamento do pavimento, foi obtido pelo catálogo LCPC [13], com estruturas dependentes do tipo de fundação e volume de tráfego incidente. Como variáveis, foi considerada a estrutura de pavimento para redes de vias estruturantes, base tratada com ligante; plataforma de suporte de 120 MPa e frota de 30 milhões de passagens de eixo padrão. A seção foi composta de 6 cm de pavimento 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. O ligante asfáltico utilizado foi do tipo modificado por polímero Flexpave 60/85, determinado conforme a metodologia Marshall. A Figura 3 exibe as camadas do pavimento e as respectivas espessuras e o Quadro 1 as características da estrutura.

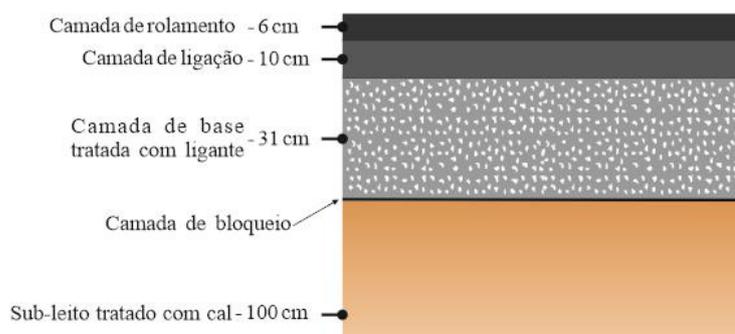


Figura 3. Dimensionamento do pavimento para implementação do sistema WIM

Quadro 1. Classes COST 323 [14] para sítios WIM

Camadas	Espessura	Granulometria	Ligante
Camada de rolamento	6 cm	Quintero (2011)	4,7 %
Camada de ligação	10 cm	Quintero (2011)	5 %
Camada de base	31 cm	Almeida (2013)	4 %
Camada de bloqueio	-	DNIT ES152 (2010)	50,0 ± 12,0
Subleito	100 cm	50,0 ± 10,0	75,0 ± 15,0

Para a construção do pavimento, na primeira camada executada foi um reforço de 50 cm no subleito existente utilizando cal hidratada, de modo a melhorar algumas propriedades do solo, como capacidade de suporte, expansão e contração. A Figura 4 apresenta o processo de execução das camadas do pavimento dimensionado para implementação do sistema WIM no sul do Brasil.



Figura 4. Etapas de execução do pavimento para sistema WIM

Foram utilizados quatro tipos de sensores de pesagem WIM, quartzo, polímero, cerâmico, e fibra óptica, instalados na camada de rolamento.

### 3 Calibração de sistemas WIM

Prévio ao início da coleta de dados utilizando o sistema WIM, é necessário a realização da calibração, que objetiva averiguar a precisão da medição, através da comparação entre as características conhecidas de um veículo e as informações geradas pelo sistema. Inicialmente, tem-se a escolha dos veículos que serão utilizados como referência, com características conhecidas, como classe, PBT, peso e a distância entre eixos etc. Recomenda-se que as classes selecionadas representem majoritariamente os veículos que trafegam na via. O processo é dividido em quatro etapas principais, (i) planejamento e execução da calibração, (ii) coleta de dados, (iii) processamento de dados e (iv) análise dos dados.

- Planejamento e execução: inclui a definição dos veículos, as rotas, as velocidades, o carregamento e a quantidade de dias e de passagens sobre cada pista da rodovia. Registra-se, detalhadamente, todo o processo e realiza-se a pré-análise dos dados para observar a necessidade de repetição da passada.
- Coleta de dados: a situação ideal é dada quando os veículos de referência trafegam na forma de comboio. Os dados são coletados para posterior interpretação dos resultados.
- Processamento de dados: dividida de forma que englobe a separação dos dados brutos e identificação dos veículos, a detecção dos eixos dos veículos e a verificação de compatibilidade de informações.
- Análise dos dados: dependente da qualidade dos dados obtidos e identificação dos sinais registrados.

O procedimento de calibração é importante, pois é capaz de conferir maior confiabilidade aos resultados obtidos no que tange a determinação de uma metodologia brasileira para pesagem em movimento.

## 4 Recomendaciones para instalaciones de sistemas WIM

Visando futuramente a fiscalización directa en rodovias, los pavimentos deben poseer estructura robusta, consecuentemente con menos mantenimientos donde los parámetros mantenganse al largo de la vida útil e no solamente en los primeros años de implementación. Considerando a estructura, aliando durabilidad e eficacia al pavimento, son presentadas las recomendaciones que rigen los procedimientos de instalación, de monitoreo e de acompañando conforme diferentes países e departamentos mundiales.

### 4.1 COST 323 [14]

A especificación COST 323 [14], puede ser aplicada para detallar e verificar el desempeño e la precisión de todos los tipos de sistemas WIM, como HS-WIM, LS-WIM, B-WIM e etc., pois contém definiciones e criterios de aceptación específicos para cada caso, sendo una das mais utilizadas para instalación e consulta sobre WIM.

A selección e la mantención del pavimento necesitan atención e cautela, una vez que sus características influyen directamente en la calidad del señal registrado por los sensores WIM. A falta de uniformidad longitudinal e la deterioración (causada por fatiga, deformación etc.) limitan a precisión de las mediciones, enquanto las grietas en la superficie pueden reducir la capacidad de medición o afectar sus respuestas. Altas deflexiones e la falta de uniformidad transversal también pueden afectar la confiabilidad e la durabilidad de los sensores. Dessa forma, a especificación COST 323 [14] presenta tres clasificaciones para los sitios de pesagem de acuerdo con las características del pavimento: I – Excelente; II – Bom; e III – Aceptable.

O trecho para instalación debe poseer cerca de 50 m a montante e 25 m a jusante del sistema, e radio de curvatura superior a 1.000 m. Segundo a clasificación COST 323 [14] los sistemas WIM son clasificados en seis clases de precisión, cada una delas correspondiendo a una gama de aplicaciones o de requisitos (Cuadro 2). Clases adicionales son dadas para sistemas que no atiendan a las clases principales.

Cuadro 2. Clasificación de los equipos segundo el COST 323 [14]

Criterio (variable analizada)	Clase % de precisión dentro del intervalo de confianza						
	A (5)	B+ (7)	B (10)	C (15)	D+ (20)	D (25)	E
PBT	5	7	10	15	20	25	>25
Grupo de ejes	7	10	13	18	23	28	>28
Eje simple	8	11	15	20	25	30	>30
Eje de un grupo	10	14	10	25	30	35	>35
Velocidad	2	3	4	6	8	10	>10
Distancia entre ejes	2	3	4	6	8	10	>10
Flujo total	1	1	1	3	4	5	>5

### 4.2 ASTM E1318-09 [15]

Otra norma utilizada como recomendación para la instalación de sitios WIM es la E1318-09 [15] utilizada para e auxiliar especificaciones en territorio norte americano. Las recomendaciones son para que haya calidad en los sensores utilizados e también cautela en la selección del local de instalación para el desempeño adecuado del sistema WIM. Algunos criterios deben ser observados, como la curvatura horizontal e vertical de la rodovia, inclinación lateral e largura de



faixa e acostamento. Condições climáticas e de temperatura e rede elétrica e de comunicação e procedimentos para o levantamento dos valores de referência, como os pesos por eixo e PBT, são realizados.

Segundo a norma, os sistemas WIM podem ser classificados em quatro tipos em função da necessidade de aplicação. Os fatores que influenciam nessa classificação são o limite de velocidade admissível e a relação e acurácia dos dados coletados, o Quadro 3 apresenta o nível de acurácia e o Quadro 4 as características relacionadas aos tipos de classificação.

Quadro 3. Classificação dos equipamentos segundo da E1318-09 [15]

Dado coletado	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3		Erro (kg)
Peso por roda	± 25 %	-	± 20 %	≥ 2.300	± 100
Peso por eixo	± 20 %	± 30 %	± 15 %	≥ 5.400	± 200
Peso por grupo de eixos	± 15 %	± 20 %	± 10 %	≥ 11.300	± 500
Peso Bruto Total	± 10 %	± 15 %	± 6 %	≥ 27.200	± 1.100
Velocidade			± 2,0 km/h		
Distância entre eixos			± 0,15 m		

Quadro 4. Características quanto os tipos de classificação da E1318-09 [15]

Tipo	Destinação	Velocidad e km/h	Peso eixo	PBT	Entr e	Data e Hora	Classe	Eixo
1	Fiscalização e coleta dados	16 e 130	x	x	x	x	x	x
2	Fiscalização e coleta dados	24 e 130	x	x	x	x	x	x
3	Sem fiscalização ou tráfico	16 e 130	x	x	x	x	-	-
4	Fiscalização PBT ou de peso por elevado	3 e 16	x	x	x	x	-	-

A classificação do tipo 4 não recebeu aprovação para aplicação nos Estados Unidos. A calibração pode ser periódica ou pontual, necessária para reestabelecer o desempenho do sistema e também o levantamento dos valores de referência. O procedimento de teste de aceitação em campo, deve ser realizado quando há instalação do sistema WIM ou mudança significativa das especificações de levantamento, com as seguintes recomendações:

- Utilizar, pelo menos, dois veículos de referência e no mínimo, cinco passadas por faixa, com velocidade de 8 km/h menor do que a velocidade máxima durante a calibração.
- Realizar uma ou mais passadas com os pneus próximos à borda da faixa da esquerda e da direita.
- Medir a velocidade dos veículos de referência por meio de um radar ou de um instrumento de medição calibrada.

A especificação não apresenta metodologia específica para a expansão da amostra e estimativa da frota de veículos da rodovia. Portanto, a determinação dos tipos de sistemas e dos níveis de desempenho deve ser realizada com base no erro de cada dado coletado, com intervalo limite de até 5%.



#### 4.3 YONA [16]

O sistema YONA [16] corresponde a um *software* desenvolvido por Martin Slavik com o objetivo de automatizar a aplicação de métodos estatísticos para a análise do desempenho de sistemas WIM. Com base nas características de uma amostra de teste, o YONA fornece uma classificação em classe de precisão para o sistema em teste, conforme as recomendações COST 323 [14] para PBT e cargas de eixo.

O YONA [16] pode ser utilizado como forma de determinar a classe de precisão do sistema teste considerando as velocidades de 5 km/h, 15 km/h, 30 km/h e 60 km/h. Os dados de entrada do programa são o tamanho da amostra (n), a média dos erros de medida (m) o desvio padrão dos erros (s).

Um teste realizado com veículos em tráfego real, registrou 30 passadas de 30 veículos, aleatoriamente. Para classificação YONA foi considerado, a classe, o peso real e o peso medido do veículo e verificado o erro das análises. Para um veículo de classe 2C e 3C, foram obtidos, respectivamente, peso real de 16,80 t e 24,15 t, peso medido de 17,5 t e 23,0 t e erro de 0,70 t e -1,15 t. O erro utilizado para classificação YONA destes dois veículos foi de 4,17% para o 2C e de -4,76% para o 3C. A partir destas análises o veículo 2C foi classificado como classe B(6) recomendado para todos os tipos de rodovias e B(7) para o 3C, recomendado para altas velocidades, com limite mínimo de 60km/h.

#### 4.4 INMETRO Portaria nº 019 [17]

Foi aprovado o Regulamento Técnico Metrológico consolidado para instrumentos de pesagem automáticos de veículos rodoviários em movimento, conforme INMETRO Portaria nº 019 [17]. O disposto aplica-se aos instrumentos que são utilizados na determinação e do PBT, das cargas por eixo e por conjunto de eixos de veículos rodoviários em movimento quando empregados na fiscalização dos veículos. A classificação conforme a acurácia e erro máximo admissível para o PBT, é apresentado no Quadro 5 e os valores devem ser arredondado para o valor de divisão mais próximo.

Quadro 5. Classificação dos equipamentos segundo o INMETRO Portaria nº 019 [17].

Tipo	Classe de exatidão	Aprovação do modelo ( $\pm$ )	Supervisão metrológica ( $\pm$ )
PBT	1	2,50 %	5,00 %
	2	3,5 %	7,00 %
	3	5,00%	10,00 %
Eixo isolado	A	4,0 %	8,0 %
	B	6,0 %	12,0 %
	C	8,0 %	16,0 %

Os valores apresentados correspondem à verificação inicial e verificação subsequente e devem ser arredondados para o valor de divisão (d) mais próximo.

#### 4.5 OIML R 134-1 [11]

A R134-1 [11], especificação da *Organisation Internationale de Métrologie Légale* (OIML), da França, também pode ser utilizada como forma de classificar os pavimentos quanto a sistemas WIM. Entretanto, o foco dá-se em sistemas em baixa velocidade, utilizada em ambientes como, áreas de pesagem restritas, locais de pedágio, estacionamentos e postos de



pesagem estáticos [18]. Desta forma, não é abordado de forma ampla neste artigo pois o foco é o de sistemas que possam ser utilizados para fiscalização direta em rodovias e na velocidade diretriz.

## 5 Exemplo de análise de desempenho segundo as recomendações para WIM

Utilizando como modelo o pavimento da Figura 1, foi realizada a análise do sistema WIM. O local de instalação foi determinado conforme COST 323 [14] para categoria Classe I, inclinação longitudinal menor que 1,0%; inclinação transversal menor que 3,0%; e com raio de curvatura maior que 1.000 metros.

A partir do monitoramento deste trecho, foram comparados os resultados de desempenho dos equipamentos entre os modelos YONA [16] e o COST 323 [14]. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ), foi utilizado com o objetivo de auxiliar na verificação dos critérios. No levantamento realizado, foram utilizados os quatro tipos de sensores instalados, quartzo; polímero; cerâmico; e fibra óptica e os resultados são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6. Comparação dos resultados de análise de desempenho.

Sensor	n	Erro da média	Desvio padrão	YONA (SLAVIK, 2008)	COST 323 (2002)
Quartzo	194	- 0,14%	8,15%	C (18)	D+ (20)
Cerâmico	185	- 8,69%	39,00%	E (90)	E
Polímero	192	- 2,96%	11,45%	D (26)	D (25)
Óptico	194	- 10,01%	22,45%	E (55)	E

A tecnologia do tipo quartzo obteve o melhor desempenho dentre os quatro sensores. Nenhum dos sensores atingiu desempenho suficiente para se enquadrarem na classificação ASTM E1318-09 [15].

Outra verificação em pista WIM utilizando sensores quartzo foi realizada pela empresa Fiscaltech, seguindo a Portaria do INMETRO/Dimel nº 17 [19]. O Quadro 7 apresenta as características metrológicas consideradas para esta classificação.

Quadro 7. Características metrológicas [19]

Modelo	HS-WIM
Carga máxima por eixo	30 000 kg
Carga mínima por eixo	200 kg
Valor da divisão real (d)	10 kg
Valor da divisão de verificação (d)	194
Velocidade máxima de operação (Vmax)	140 km/h
Velocidade mínima de operação (Vmin)	2 km/h
Direção de pesagem	Unidirecional
Faixa de temperatura	-10 °C / 60 °C

Conforme os resultados, o instrumento de pesagem rodoviária automático verificado recebeu classificação geral 2B, ou seja, 3.50% pra PBT e 6.00% eixos e grupos de eixos, conforme INMETRO Portaria nº 019 [17] e nível de acurácia do Quadro 1. Considerando os níveis de acurácia da classe 2B, o equipamento pode ser relacionado com a classe A(5) do COST 323 [14], indicado para fiscalização de trechos.



## 6 Considerações finais

Os métodos de dimensionamentos de pavimentos utilizados no Brasil necessitam de atualizações para que sejam compatíveis com a crescente frota incidente. A espessura projetada para as camadas do pavimento, conforme DNIT [5], não é capaz de conferir segurança e durabilidade dispendendo mais recursos para manutenção. Desta forma, as atualizações quanto às normativas são essenciais e os órgãos responsáveis a notaram uma vez em que o método de dimensionamento encontra-se em transição para metodologia mecanicista apresentada pelo MeDiNa.

Estes dimensionamentos e implementação de sistemas WIM podem ocorrer conforme diversas recomendações internacionais que diferem quanto à infraestrutura do local de instalação, limites de velocidade e tipo de coleta de dados.

Assim, neste artigo foram apresentados as principais recomendações para a implementação de sistemas WIM e os benefícios que cada tipo de tecnologia quanto à fiscalização direta de cargas. O objetivo é que com o passar dos anos e difusão destes sistemas pelo país, a fiscalização para excesso de peso seja automatizada assim como acontece nos limites de velocidade. O pavimento construído para testes apresentou classificação diferenciada para cada tipo de sensor instalado e pode ser especificada quanto a YONA [16] e COST 323 [14]. Outro pavimento instrumentado no Brasil, também foi verificado e realizados conforme Portaria INMETRO/Dimel nº 17 [19], onde classificou o sistema WIM como classe 2B, que relacionada com a classificação COST 323 [14] enquadra-se como apta para a fiscalização legal. Assim, estas iniciativas confirmam o interesse do Brasil no controle eficaz de cargas, cada vez mais perto dos procedimentos de fiscalização direta.



## 7 Referências

- [1] Kishore, A., & Klashinsky, R. (2000, November). Prevention of Highway infrastructure damage through commercial vehicle weight enforcement. In Annual Indian Roads Congress, Calcutta, India (pp. 4-7).
- [2] 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.
- [3] Brito, L., Bock, A. L., Ceratti, J. A. P., & Núñez, W. P. (2014). Sistema de pesagem em movimento – 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, 29-41.
- [4] Bosso, M. (2018). Uso da tecnologia Weigh-in-Motion para a caracterização do tráfego rodoviário e do excesso de carga em veículos comerciais (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- [5] BRASIL. Manual de Pavimentação. Diretoria de Infraestrutura. Rio de Janeiro, 2006.
- [6] CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. Resolução nº 210/06 de 13/11/2006. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. Brasília, 2006. 7p. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>>. Acesso em: 16 março. 2022.
- [7] FHWA. Weigh-in-Motion Pocket Guide. Part 1: WIM Technology, Data Acquisition, and Procurement Guide. Washington, 2018a.
- [8] BRASIL. Pesagem em Movimento e Análise do Pavimento – Relatório Parcial 11. Florianópolis: UFSC; Brasília: DNIT, 2016b. Termo de Cooperação Técnica n. 497/2012. (Relatório parcial, 1R11). 2016b.
- [9] Transportation Officials. (1993). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1993 (Vol. 1). Aashto.
- [10] ARAÚJO, M. A., SANTOS, M. D., Pinheiro, H. P., & Cruz, Z. V. (2016). Análise comparativa de métodos de pavimentação – pavimento rígido (concreto) x flexível (asfalto). *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento*. Ano, 1, 187-196.
- [11] OIML, R. (2006). 134-1 Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads.
- [12] INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Contas Nacionais do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2016a. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/pib/defaultcnt.shtm>.
- [13] 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.
- [14] COST 323. Cooperation in Science and Technology. Weigh in motion of road vehicles. Final Report, Appendix 1 European WIM Specification, LCP publication, Paris. 2002.
- [15] ASTM. E1318-09: Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods. ASTM International. 2017.
- [16] SLAVIK, M.; DE WET, G. Checking WIM Axle-Spacing Measurements. In: 6th International Conference on Weigh-In-Motion (ICWIM 6). 2012.
- [17] INMETRO. PORTARIA Nº 19 - Regulamento Técnico Metrológico consolidado para instrumentos de pesagem automáticos de veículos rodoviários em movimento. Rio de Janeiro. 2022.
- [18] PELLIZZON, Nayara Donelli et al. Análise de aspectos legais relacionados à implementação da fiscalização direta do excesso de peso no contexto brasileiro. 2017.
- [19] PORTARIA INMETRO/DIMEL Nº 17 - Regulamento Técnico Metrológico para instrumentos de pesagem rodoviária automáticos. Rio de Janeiro. 2022.

