



Diretrizes para o Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso

Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT
Recurso de Desenvolvimento Tecnológico – RDT
**Estudos e pesquisas aplicadas visando à modernização da fiscalização e à
monitoração rodoviária com equipamentos de pesagem em alta velocidade
utilizando o sítio de pesquisas instalado em Araranguá/SC**

Diretrizes para o Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso

Dezembro de 2021



Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT / Recurso de Desenvolvimento Tecnológico – RDT

Estudos e pesquisas aplicadas visando à modernização da fiscalização e à monitoração rodoviária com equipamentos de pesagem em alta velocidade utilizando o sítio de pesquisas instalado em Araranguá/SC

Concessionária Catarinense de Rodovias S.A. - CCR Via Costeira

Rua Silvio Burigo, n°. 555 – Bairro Oficinas
CEP 88702-500 – Tubarão – Santa Catarina
<https://www.ccrviacosteira.com.br>

Breno Ferreira Leal
Gerente Contrato de Concessão

Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária - FAPEU

Rua Delfino Conti, s/nº, Campus Universitário, Bairro Trindade – Caixa Postal 5153
8040-370 – Florianópolis – Santa Catarina
<http://www.fapeu.com.br>

Gilberto Vieira Ângelo
Superintendente

Sumário

1. Introdução	1
2. Estado da Arte e da Prática da Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM	3
2.1. O pioneirismo de Taiwan	3
2.2. A consolidação na República Tcheca.....	4
2.3. As experiências na China e na Rússia	7
2.4. O aperfeiçoamento na Hungria	9
2.5. O avanço da fiscalização direta com HS-WIM no mundo	11
2.5.1. França.....	11
2.5.2. Polônia	13
2.5.3. Coréia do Sul	14
2.5.4. Brasil	15
2.6. Conclusões e diretrizes baseadas em evidências.....	17
2.6.1. Especificação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta	17
2.6.2. Implementação da fiscalização direta com HS-WIM	18
2.6.3. Operação da fiscalização direta com HS-WIM.....	19
3. Diretrizes para a Operação da Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM.....	21
3.1. Orientação ao condutor para a pesagem HS-WIM	24
3.2. Pesagem HS-WIM.....	25
3.3. Controle de fuga da fiscalização.....	27
3.4. Orientação ao condutor após a pesagem	29
3.5. Regularização da carga.....	31
4. Considerações Finais.....	33
REFERÊNCIAS	35
APÊNDICE A – Projeto de ITS (Solução Tecnológica e Sinalização)	39

1. Introdução

O termo “HS-WIM para fiscalização direta” se refere à utilização de sistemas de pesagem em movimento em alta velocidade, do inglês *High Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM), instalados na pista de rolamento das rodovias, como instrumento principal de inspeção e de fiscalização dos limites de peso de veículos em alta velocidade (ou à velocidade diretriz das vias). Nesse contexto, o produto “Documentos Técnicos para Subsidiar a Normatização do Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso”, anterior a este documento, demonstrou uma primeira modelagem operacional e identificou os desafios normativos que deverão ser endereçados para a implementação definitiva de sistemas HS-WIM para fiscalização direta de veículos no Brasil. Em sequência a esta primeira modelagem, o presente produto tem o objetivo de fornecer diretrizes específicas para a operacionalização da fiscalização direta com sistemas HS-WIM em âmbito nacional.

A fiscalização direta com sistemas HS-WIM foi documentada pela primeira vez em Taiwan, na década de 1990, como uma ação emergencial de controle do excesso de peso em suas rodovias. Mais tarde, já em 2011, a República Tcheca se tornou o primeiro país do mundo a regulamentar, de forma definitiva, a operação de sistemas para fiscalização direta. Desde então, vários países, inclusive o Brasil, têm buscado os desenvolvimentos técnicos, metrológicos e legais necessários para a implementação dessa modalidade de fiscalização de veículos em suas rodovias. Nesse contexto, o presente produto fornece uma contextualização do estado da arte e da prática referente à fiscalização direta com sistemas HS-WIM, passando por uma abordagem específica sobre os principais pilares tecnológicos desse modo de coibição do excesso de peso.

A operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta no Brasil depende da definição de processos específicos para o registro de infrações e para o cumprimento de medidas administrativas envolvendo o transbordo e/ou remanejamento das cargas excedentes. Atualmente, essas questões são regulamentadas pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) e pela Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), e o presente trabalho busca contribuir com esse processo de regulamentação, além de facilitar a normatização desse modo de fiscalização no contexto das rodovias federais concedidas do Brasil. Para isso, o trabalho também contém diretrizes operacionais específicas da fiscalização direta com sistemas HS-WIM.

Este produto é parte de um esforço mais amplo, cujo objetivo é fornecer os subsídios técnicos para a formulação dos instrumentos normativos pendentes e necessários para o registro automatizado de infrações e para a aplicação de medidas administrativas, na operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta do peso de veículos. Para tanto, os capítulos que seguem abordam o estado da prática mundial da fiscalização direta com HS-WIM, além de uma visão detalhada dos processos operacionais necessários para a implementação desse modo de fiscalização na malha rodoviária do Brasil.

2. Estado da Arte e da Prática da Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM

Na fiscalização direta com sistemas *High Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM), a pesagem de veículos é realizada em alta velocidade, e essa medição é utilizada como única comprovação para o registro de eventuais infrações. Isso permite uma operação abrangente e ininterrupta da fiscalização, em que todos os veículos que trafegam sobre determinado ponto da rodovia são inspecionados. Quando comparados com postos de pesagem tradicionais, os sistemas HS-WIM permitem a adoção de estruturas de fiscalização simplificadas e de menor custo, que têm sido idealizadas e implementadas por organizações rodoviárias em diferentes locais do mundo. Assim, este capítulo fornece uma contextualização sobre o estado da arte e da prática mundial referente à fiscalização direta com sistemas HS-WIM, buscando, especificamente, identificar recomendações baseadas em evidências que possam subsidiar o desenvolvimento dessa modalidade de fiscalização no Brasil.

2.1.0 pioneirismo de Taiwan

A fiscalização direta com sistemas HS-WIM tende a aumentar a eficiência e a efetividade da fiscalização rodoviária e, por isso, tornou-se um desejo de órgãos rodoviários desde o início do desenvolvimento da atual geração de sensores de carga de alto desempenho. Taiwan se tornou o primeiro país do mundo a implementar uma modalidade de fiscalização direta com sistemas HS-WIM, em 1999, com intuito de remediar os elevados índices de excesso de peso observados em suas rodovias.

A implantação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta em Taiwan foi realizada através de uma decisão política, diante de uma situação emergencial e não envolveu um processo de regulamentação técnica e metrológica. Em sua operação, o sistema HS-WIM era posicionado a 500 m de um posto de pesagem estática, e, após a pesagem em alta velocidade, um painel de mensagens informava aos condutores as eventuais ocorrências de infrações por excesso de peso. Caso fosse indicada alguma irregularidade, os condutores eram advertidos e tinham a opção de parar na estação de pesagem estática para comprovar o excesso de peso detectado, ou, então, a opção de seguir viagem e aceitar que a multa fosse aplicada automaticamente (CHOU, 2011).

Segundo Chou (2011), a fiscalização direta com HS-WIM se manteve operacional por, aproximadamente, dois anos nas rodovias provinciais em Taiwan e foi cancelada assim

que o problema de sobrepeso local se tornou estável e sob controle. Assim, a experiência de Taiwan com a implementação da fiscalização direta com HS-WIM demonstrou que o nível de desempenho das tecnologias de pesagem em alta velocidade da época era suficiente para viabilizar a fiscalização direta, contanto que fossem aplicadas tolerâncias (descontos das medições) compatíveis com os níveis de erro máximo dos equipamentos.

2.2. A consolidação na República Tcheca

No início dos anos 2000, a precisão e a confiabilidade dos sistemas HS-WIM foram significativamente melhoradas, e esses sistemas passaram a ser utilizados com mais frequência para aplicações relacionadas à fiscalização de veículos, como para pré-seleção de potenciais infratores ou para planejamento da fiscalização móvel (VAN LOO; ŽNIDARIČ, 2019). Assim, no ano de 2011, a República Tcheca se tornou o primeiro país europeu a regulamentar e homologar, de forma definitiva, sistemas de pesagem HS-WIM para fiscalização do peso de veículos.

A regulamentação técnica e metrológica dos sistemas HS-WIM na República Tcheca se baseou nas recomendações dos documentos OIML R-134-1, ASTM E-1318 e COST323 (JACOB; VAN LOO, 2012). Dessa forma, os sistemas foram regulamentados para operar com erro máximo de 5% para Peso Bruto Total (PBT) e 11% para eixos e grupos de eixos, considerando-se um nível de confiança de 95%. Os sistemas HS-WIM foram introduzidos no país de forma a compor a estrutura de fiscalização até então existente, juntamente com os sistemas de pesagem dinâmica em baixa velocidade (LS-WIM) e de pesagem estática, que continuaram a ser utilizados.

A partir dos desenvolvimentos realizados na República Tcheca, foi introduzido o conceito de “validação das medições”, no qual o sistema de pesagem em movimento deve: (i) controlar as diferentes variáveis que influenciam sobre a qualidade pontual das medições em alta velocidade; e (ii) indicar quais medições possuem maior possibilidade de apresentar acurácia inferior aos erros máximos admissíveis estabelecidos. Assim, essas medições podem ser descartadas para que não haja equívocos na aplicação das penalidades.

A Figura 1 mostra um sistema HS-WIM para fiscalização direta em operação na República Tcheca.

Figura 1 – HS-WIM para fiscalização direta em operação na República Tcheca



Fonte: Camea (2020)

As ações de pesquisa e de desenvolvimento em torno da fiscalização direta com HS-WIM se tornaram mais evidentes após a República Tcheca regulamentar essa modalidade de fiscalização em seu território, no início da década de 2010. Antes disso, as palavras-chave “HS-WIM” e “*direct enforcement*” sequer haviam sido mencionadas em um mesmo trabalho na *5ª Conferência Internacional de Pesagem em Movimento*, principal evento do ramo da pesagem de veículos, que ocorreu em Paris, no ano de 2008. Depois disso, a partir de 2011, os técnicos e pesquisadores envolvidos com a modernização da pesagem de veículos no mundo passaram a documentar e a difundir os seus desenvolvimentos e a sua experiência com sistemas HS-WIM para fiscalização direta.

O trabalho de Doupal et al. (2012) foi uma das primeiras publicações técnicas a tratar da fiscalização direta com HS-WIM. O artigo apresentou ao mundo elementos da regulamentação técnica e metrológica para a fiscalização com sistemas HS-WIM na República Tcheca, em um momento em que os primeiros sistemas haviam sido homologados pelo órgão metrológico local. O artigo também apresentou o conceito de “validação das medições”, como elemento-chave para assegurar que nenhum veículo fosse multado de forma injusta. Já em relação a recomendações para o uso da tecnologia HS-WIM, o trabalho destaca a importância dos acelerômetros e dos medidores de temperatura para a pesagem por eixo de alto desempenho, pois suas saídas podem aperfeiçoar o cálculo da carga por eixo a partir da estimativa da deflexão real da rodovia.

Na Figura 2, é mostrado o processo de validação das medições na República Tcheca, extraído diretamente do trabalho de Doupal et al. (2012).

Figura 2 – Processo de validação das medições na República Tcheca



Fonte: Camea (2020)

Conforme exposto no canto superior esquerdo da Figura 2, a validação das medições de sistemas HS-WIM para fiscalização direta na República Tcheca é realizada através da atribuição de um percentual para a pesagem de cada veículo passante. Nesse caso específico, caso o percentual de validação seja menor que 90%, a medição passa a ser invalidada. Além do percentual de validação, o sistema também fornece ao usuário uma breve justificativa para as potenciais invalidações realizadas automaticamente.

No artigo desenvolvido por Fucik et al. (2016), os autores apresentaram as principais lições aprendidas com a experiência de cinco anos de operação de sistemas HS-WIM na República Tcheca. Esse trabalho recomenda que, para um erro máximo de 5% para Peso Bruto Total (PBT) e de 11% para eixos, sejam utilizadas três linhas de sensores de carga de alto desempenho, o que, além de tornar a pesagem mais acurada e precisa, contribui para um número maior de medições válidas. O trabalho também sugere que se escolham locais de instalação com baixo ou nenhum histórico de intervenções de conservação (ou seja, rodovias novas), pois há locais que podem mascarar problemas nas camadas inferiores do pavimento e isso poderá influenciar na redução da precisão ou da durabilidade do sistema de pesagem.

No mesmo ano, o trabalho de Doupal et al. (2016) continha um descritivo dos testes de campo e um relato da experiência do Instituto Metrológico da República Tcheca com a

certificação e homologação de sistemas HS-WIM para fiscalização. Esse trabalho também forneceu as seguintes recomendações específicas para o alto desempenho da pesagem em alta velocidade, baseando-se na experiência prática da República Tcheca:

- Segundo os autores, a validação de medições deve ser uma função nativa dos sistemas HS-WIM fornecidos pelo mercado.
- As estações HS-WIM devem ser complementadas com equipamentos que possibilitem as seguintes funcionalidades: medição da posição das rodas no perfil transversal da pista; distinção entre rodado simples e rodado duplo; medição de temperatura da rodovia em contato com os sensores de carga.

A divulgação da experiência do órgão metrológico da República Tcheca possibilitou que outros países encurtassem a sua curva de aprendizado na implantação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta.

A experiência da República Tcheca demonstrou, ao restante do mundo, que a fiscalização do peso de veículos em alta velocidade poderia ser feita com elevados níveis de desempenho, contanto que os sistemas fossem municiados com ferramentas de validação das medições, capazes de anular a possibilidade de se processar uma infração de excesso de peso de forma equivocada.

Após a consolidação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM na República Tcheca, diversos outros países perceberam que era possível implementar essa forma otimizada de fiscalização, contanto que fossem desenvolvidos processos tecnicamente adequados, construídos de forma a considerar as reais potencialidades e limitações das tecnologias HS-WIM. Conforme relatado no trabalho de Doupal et al. (2016) o projeto Tcheco de HS-WIM foi amplamente questionado no seu início e passou por um longo período de adaptação, mas se consolidou e foi, inclusive, ampliado ao longo da sua primeira década de operação, com a instalação de mais pontos de monitoramento e certificação um maior número de empresas para o fornecimento das soluções tecnológicas.

2.3. As experiências na China e na Rússia

Existem relatos pouco documentados na literatura de que a fiscalização direta com sistemas HS-WIM se tornou legal, na China, em 2004 e que operação dessa modalidade de fiscalização se consolidou no país em 2016. De acordo com um desses relatos, esses sistemas hoje são projetados para operar com erros máximos de $\pm 5\%$ para o PBT e $\pm 10\%$ para a pesagem de eixos e grupos de eixos, considerando-se um nível de confiança variável de 90% a 95% (POSPISEK, 2020). Nesse contexto, o trabalho de Hang et al. (2013) aborda o que era, até então, o estado da prática na aplicação de sistemas HS-WIM para controle do excesso de peso de veículos na China. Os autores detalham três tipos de postos de fiscalização utilizados na China, sendo um deles baseado no uso de sistemas WIM para fiscalização direta (denominado “estação simplificada”).

Segundo Popisek (2020), os sistemas HS-WIM para fiscalização direta foram regulamentados, na Rússia, em 2013, e se tornaram operacionais em 2015. Os sistemas devem operar com erros máximos admissíveis de $\pm 5\%$ para o PBT e $\pm 11\%$ para eixos, considerando-se um nível de confiança de 95%. O artigo elaborado por Fucik et al. (2016) relata a implementação da fiscalização direta com HS-WIM na Rússia e uma interpretação dos resultados da operação desses sistemas. De acordo com os relatos do trabalho, os índices de sobrecarga submetida à rodovia foram reduzidos a, aproximadamente, um quinto, em um período de dois meses.

A Figura 3 apresenta um recorte de um registro de infração por excesso de peso gerado por um sistema HS-WIM na Rússia.

Figura 3 – Registro fotográfico de infração por sistema HS-WIM na Rússia



Fonte: EBS (2021)

Conforme mostrado na Figura 3, além das informações referentes aos limites de peso do veículo e aos excessos aferidos pelo sistema de pesagem, o registro de uma infração detectada por um sistema HS-WIM na Rússia é composto por imagens panorâmicas e frontais, que possibilitam a identificação efetiva do veículo e que facilitam os procedimentos de conferência da consistência das infrações registradas.

A apuração das experiências da China e da Rússia com sistemas HS-WIM para fiscalização direta mostra que há países implementando essa modalidade de fiscalização em grande escala, mas que ainda não documentaram ou divulgaram suas experiências de forma ampla. Isso reforça a hipótese de que o desenvolvimento de sistemas HS-WIM

para fins de fiscalização ainda é algo novo, e as primeiras experiências de diversos países com essa modalidade de fiscalização deverão ser divulgadas ao longo da presente década.

2.4. O aperfeiçoamento na Hungria

Em 2018, a Hungria iniciou a implantação da maior rede de sistemas HS-WIM de alto desempenho para fiscalização direta da Europa, com mais de 100 pontos de coleta instalados. Em 2019, segundo trabalho de Ronay-Tobel et al. (2019), o país já contava com 107 sistemas HS-WIM implantados e com 274 faixas monitoradas. Nessa aplicação, foram estabelecidas três classes de desempenho distintas para homologação dos sistemas HS-WIM, nas quais as tolerâncias para imposições de penalizações por excesso de peso são compatíveis com os erros máximos admissíveis de cada classe, conforme listadas abaixo.

- $\pm 5\%$ para PBT e $\pm 8\%$ para eixos e grupos de eixos.
- $\pm 7\%$ para PBT e $\pm 10\%$ para eixos e grupos de eixos.
- $\pm 10\%$ para PBT e $\pm 15\%$ para eixos e grupos de eixos.

Os trabalhos de Ronay-Tobel et al. (2019) e Ronay-Tobel (2020) relataram a experiência com a implementação de uma rede de mais 100 sistemas HS-WIM para fiscalização direta na Hungria. Nessas publicações, foram relatadas as principais oportunidades e foram descritos os desafios observados pelo governo Húngaro durante os seus primeiros anos de experiência com essa nova modalidade de fiscalização. Assim, os trabalhos destacam, primeiramente, as estratégias que contribuíram para a redução dos custos de implantação e tornaram o projeto economicamente viável:

- Aquisição em grande escala de componentes de *hardware* e de serviços técnicos específicos das instalações, como calibração e manutenção.
- Utilização da infraestrutura já implantada para o sistema de pedágio rodoviário nacional.

A Figura 4 exibe uma montagem com duas imagens de um sistema HS-WIM utilizado para fiscalização na República Tcheca.

Figura 4– Sistema HS-WIM para fiscalização direta na Hungria



Fonte: Tengelysulymeres (2021)

Para o projeto HS-WIM da Hungria, os dispositivos de detecção de veículos, as câmeras de Leitura Automática de Placas (LAP) e os pórticos com pontos de energia e comunicação já haviam sido fornecidos nos locais de instalação, o que permitiu que os custos dessa infraestrutura fossem desconsiderados no orçamento do projeto.

Outro desenvolvimento importante na Hungria, relatado no trabalho Ronay-Tobel et al. (2019), foi a instalação de uma central de monitoramento da rede HS-WIM, que permite a detecção imediata de pontos de coleta ou de sensores com suspeita de desempenho abaixo do nível necessário.

Ainda no trabalho de Ronay-Tobel (2019), os autores relatam a adoção, na Hungria, de uma estratégia de total transparência junto à indústria de transportes, o que acabou sendo essencial para o sucesso do projeto. Nesse contexto, o Ministério de Inovação e Tecnologia da Hungria elencou as seguintes ações:

- Implementação e anúncio de um período introdutório de adaptação em que os infratores eram notificados, mas não eram penalizados com base nas medições HS-WIM.
- Organização de uma sessão experimental aberta, com a presença das principais organizações de transportadores, para testes e demonstrações de um sistema metrologicamente certificado.
- Realização de campanha de divulgação na mídia local, incluindo um *site* dedicado a esclarecer dúvidas sobre a nova modalidade de fiscalização.
- Desenvolvimento e abertura de uma plataforma *on-line* a partir da qual as transportadoras podem baixar dados HS-WIM (e as respectivas imagens) relacionados às suas próprias infrações.
- Participação em eventos e em conferências do setor de transportes, de forma a proporcionar às transportadoras locais a oportunidade de expressar suas preocupações em um fórum público.

- Desenvolvimento e implantação de um serviço de mensagens de texto que fornece notificações imediatas às transportadoras cadastradas, caso algum de seus veículos seja detectado com excesso de peso.

Considerando-se a consolidação da fiscalização com HS-WIM na Hungria, o trabalho de Ronay-Tobel (2020) abordou as potenciais mudanças no padrão de tráfego das rodovias húngaras, como resultado da introdução da rede de sistemas HS-WIM. Nesse contexto, foi relatado que a alocação dos sistemas não ocasionou mudança significativa na escolha da rota e nos padrões de uso das rodovias do país. Por outro lado, ao viabilizar inspeções automáticas e diretamente na pista de rolamento das rodovias, a implementação de sistemas HS-WIM resultou em um volume de registros de infrações por excesso de peso cinco vezes maior, mesmo com apenas 15% da capacidade em operação.

O programa de fiscalização direta com sistemas HS-WIM implementado na Hungria serviu de exemplo, aos demais países interessados no assunto, sobre importância de se manter uma interlocução entre as organizações responsáveis pelo controle do excesso de peso e o setor de transportes, no processo de implementação de uma nova modalidade de fiscalização. Esse diálogo promove o conhecimento de condutores, transportadores e embarcadores sobre os novos processos de inspeção, além da confiança a respeito do desempenho dos equipamentos de pesagem. A Hungria adotou uma estratégia de total transparência, e isso contribuiu para um rápido período de transição para a implementação definitiva do seu projeto HS-WIM.

2.5. O avanço da fiscalização direta com HS-WIM no mundo

As experiências da República Tcheca e da Hungria foram amplamente divulgadas nos fóruns internacionais do campo dos sistemas inteligentes de transporte. O conhecimento compartilhado por esses países inspirou o desenvolvimento de estudos e de pesquisas para a implementação da fiscalização direta com HS-WIM em outros países, que consideram as particularidades de cada local. Assim, as pesquisas e os desenvolvimentos para implementação da fiscalização direta passaram a ser apoiados pelos governos locais de diferentes partes do mundo.

2.5.1. França

Em 2016, os técnicos e pesquisadores envolvidos com o desenvolvimento da fiscalização direta com HS-WIM na França divulgaram o lançamento de um projeto liderado pelo Ministério dos Transportes da França, em parceria com o Instituto Francês de Ciência e Tecnologia para Transporte, Desenvolvimento e Redes (IFSTTAR) e com o Centro de Estudos sobre Riscos, Meio Ambiente, Mobilidade e Planejamento (Cerema), para demonstrar a viabilidade do uso de sistemas HS-WIM para fiscalização direta. Nesse trabalho, foram divulgados os erros máximos a serem exigidos para os sistemas de pesagem em alta velocidade, sendo $\pm 5\%$ para o PBT e $\pm 10\%$ para peso por eixo/grupo de eixos, considerando-se 100% das medições válidas (COTTINEAU et al., 2016). No

mesmo contexto, Jacob e Cottineau (2016) apresentaram os resultados obtidos nos testes acelerados de pesagem em movimento, realizados durante o ano de 2014, com auxílio do carrossel de fadiga do IFSTTAR (Figura 5).

Figura 5 – Carrossel de fadiga do IFSTTAR



Fonte: Jacob e Cottineau (2016)

Três anos depois de anunciar o seu projeto para a implementação da fiscalização direta com HS-WIM, foi publicado o trabalho de Klein et al. (2019) que contém os resultados dos testes de campo realizados para fins de avaliação da viabilidade da fiscalização direta na França, conforme parâmetros de desempenho pré-estabelecidos. Naquele momento, de acordo com os autores, os resultados foram encorajadores, e o projeto passou para uma segunda fase de desenvolvimentos, em que se iniciou a elaboração dos procedimentos de aprovação de modelo e de certificação dos sistemas HS-WIM junto ao órgão metrológico do país. Também, foi relatada, nesse trabalho, a possibilidade de se adotar, na fiscalização HS-WIM na França, níveis distintos de erros máximos admissíveis para diferentes tipos de veículos pesados (caminhões e veículos comerciais de menor porte).

Os relatos das pesquisas realizadas na França, com o intuito de desenvolver e de, conseqüentemente, viabilizar a fiscalização direta com sistemas HS-WIM, demonstraram que o principal desafio a ser endereçado nesse contexto era compatível com o que foi abordado no início da década de 2010, na República Tcheca: o desenvolvimento de técnicas e de procedimentos capazes de assegurar que todos os registros de infrações detectadas por sistemas HS-WIM apresentem medições de peso dentro de um intervalo de erro conhecido, de forma a assegurar que nenhuma parcela de veículos pesados seja multada injustamente.

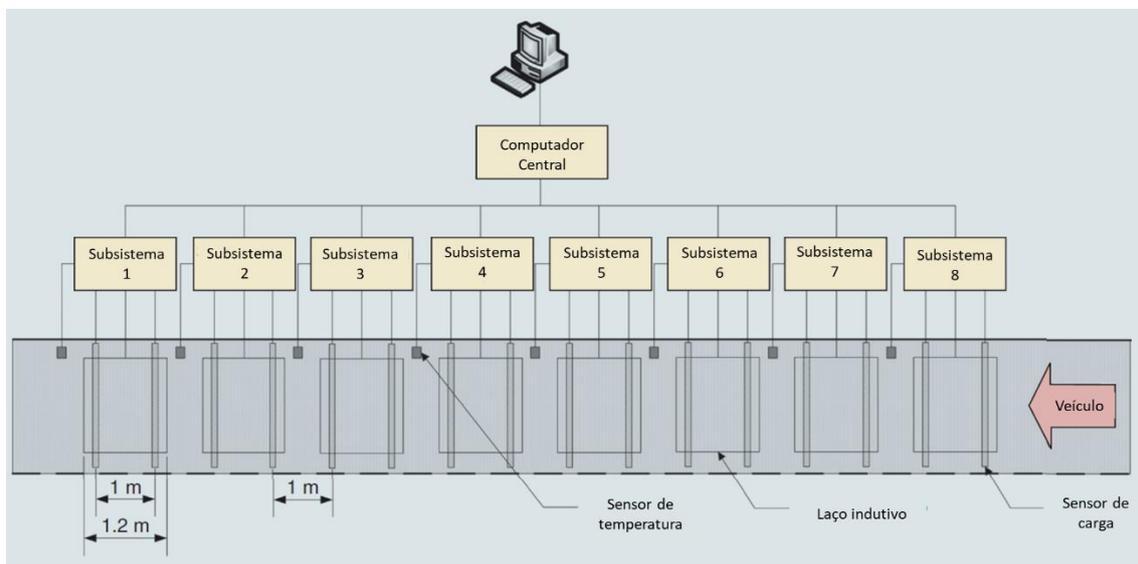
2.5.2. Polônia

Em 2013, o governo da Polônia inaugurou um grupo de trabalho intitulado *Intelligent Transportation Systems Cluster*, que reuniu representantes do governo polonês, universidades, institutos de pesquisa e empresas do ramo, com o objetivo de desenvolver e de regulamentar a fiscalização direta com sistemas HS-WIM no país (GAJDA et al., 2016). A partir do lançamento desse grupo de trabalho, uma série de publicações foi realizada por pesquisadores da Polônia, contendo os resultados dos estudos aplicados realizados, com o objetivo de viabilizar a fiscalização com HS-WIM no país.

Os pesquisadores poloneses assumiram a missão de tentar melhorar a precisão das medições de peso de sistemas HS-WIM, de forma a contribuir com o estado da arte da pesagem dinâmica de veículos. Segundo Gajda et al. (2018), foi realizado um estudo comparativo que incluiu a análise da precisão dos sistemas de pesagem com diferentes números de sensores de carga por eixo. Os resultados dessa pesquisa indicaram que, em termos de precisão e acurácia, oito sensores seriam a quantidade ótima em um sistema HS-WIM de alto desempenho.

A Figura 6 apresenta o leiaute da pista de testes com um arranjo de múltiplos sensores de pesagem em movimento, através do qual foram realizados testes para desenvolvimento da fiscalização direta com HS-WIM na Polônia.

Figura 6 – Leiaute do sistema WIM de múltiplos sensores desenvolvido para testes na Polônia



Fonte: Gajda et al. (2018)

O trabalho de Burnos et al. (2019) relatou dois potenciais problemas relacionados à fiscalização direta com HS-WIM que, segundo os autores, até então não haviam soluções satisfatórias: a utilização de um método objetivo de avaliação da precisão dos sistemas

HS-WIM e a garantia de um desempenho elevado e estável para a pesagem em alta velocidade. Nesse contexto, o trabalho apresenta um método para controle contínuo da precisão dos sistemas HS-WIM durante sua operação em condições ambientais variáveis. Esse método permite que seja assinalado um índice de incerteza a cada registro de pesagem, equivalente às “validações das medições”, inicialmente realizadas na República Tcheca.

Ainda no contexto dos esforços para implementação da fiscalização direta com HS-WIM na Polônia, Burnos e Rys (2017) apresentaram os resultados de um estudo desenvolvido especificamente para compreender os efeitos da temperatura do pavimento e da velocidade dos veículos na precisão de sistemas instalados em pavimentos flexíveis. Segundo os autores, os resultados do estudo comprovaram que a precisão da pesagem em alta velocidade depende do comportamento do pavimento e do sensor, diante da incidência das cargas dinâmicas dos eixos dos veículos. Nesse sentido, os autores concluíram que, para atingir uma precisão alta e constante em sistemas HS-WIM para fiscalização direta, recomenda-se a implementação de algoritmos de correção que considerem a temperatura do pavimento e a velocidade da pesagem, ou a implementação de um método de autocalibração do sistema, independentemente da tecnologia de sensor utilizada.

Os desenvolvimentos realizados na Polônia contribuíram de forma ampla para o estado da arte da pesagem com sistemas HS-WIM, pois abordaram esse tema sob múltiplas perspectivas. Os resultados parciais das pesquisas realizadas contribuíram para a obtenção de recomendações baseadas em evidências, que tendem a facilitar a especificação e a operação de sistemas HS-WIM em âmbito internacional.

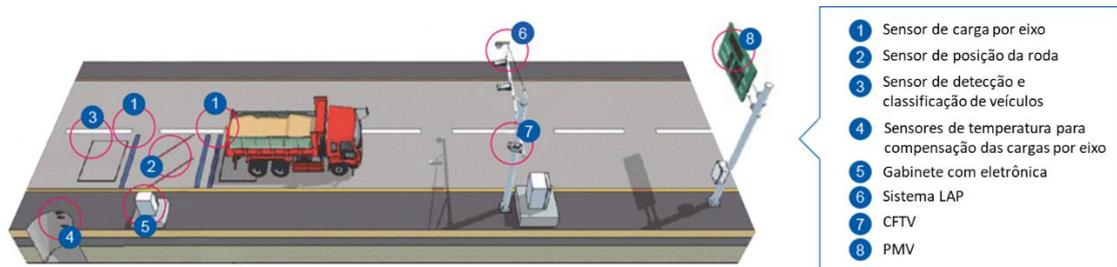
2.5.3. Coréia do Sul

O artigo de Kwon et al. (2012) relatou a experiência da Coréia do Sul em um projeto-piloto para analisar a efetividade de sistemas HS-WIM para fiscalização direta no país. Nos testes de precisão realizados, os sistemas HS-WIM apresentaram medições com erro máximo de $\pm 5\%$ para o PBT e $\pm 10\%$ para eixos, de forma compatível com as recomendações do COST 323. Após a implementação da fiscalização direta com HS-WIM em dois pontos específicos, a frequência de caminhões com excesso de peso foi reduzida em 27% em comparação com a taxa antes da fiscalização. No mesmo contexto, a frequência de caminhões com sobrepeso considerado severo diminuiu em 91%.

A experiência da Coréia do Sul e de outros países demonstra a capacidade que os sistemas HS-WIM possuem de prover métricas de desempenho das ações de coibição do excesso de peso, que pode ser monitorado ao longo do tempo para que se possa atingir os patamares desejáveis de controle.

A solução HS-WIM utilizada na Coréia do Sul pode ser visualizada na Figura 7.

Figura 7 – Solução HS-WIM testada para fiscalização direta na Coréia do Sul



Fonte: Molit (2016)

A solução tecnológica utilizada nos sistemas HS-WIM da Coréia do Sul está de acordo com as principais recomendações para uma pesagem dinâmica de alto desempenho. Primeiramente, utilizam-se três linhas de sensores de carga, o que tende a resultar em um elevado nível de precisão do sistema. Além disso, a solução tecnológica prevê a instalação de sensores de temperatura e de sensores diagonais para detecção da posição da roda no momento da pesagem, o que possibilita a implementação de algoritmos capazes de aprimorar ou de invalidar o resultado da pesagem a partir do monitoramento dessas variáveis com impacto sobre a sensibilidade das medições.

2.5.4. Brasil

No que diz respeito à fiscalização do transporte de cargas, a utilização de sistemas HS-WIM para a fiscalização direta do peso de veículos foi anunciada como um dos principais objetivos em pauta pelo atual governo brasileiro (ANTT, 2020). A possibilidade de serem realizados investimentos reduzidos em infraestrutura física e de haver melhores níveis de controle atraiu atenções para a implementação dessa modalidade de fiscalização no país. Atualmente, os esforços técnicos para a implantação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta no Brasil estão focados no desenvolvimento e na regulamentação dos processos de operação desses sistemas, desde a coleta de dados na rodovia até o processamento das infrações por excesso de peso.

Em 2008, foi construído o sítio de pesquisa de tecnologias de pesagem em movimento de Araranguá/SC. Desde a sua concepção, esse sítio de pesquisas foi utilizado para testes e desenvolvimentos aplicados, que contribuiram para a modernização do controle do excesso de peso no Brasil. Hoje, o sítio de pesquisas de Araranguá/SC acumula um amplo histórico de desenvolvimentos para a pesagem de veículos no Brasil, que culminaram na iminente implementação da fiscalização direta com HS-WIM no país.

Desde 2010, diversos trabalhos relataram processos de avaliação de aspectos relacionados à implementação e à operação de sistemas HS-WIM em condições brasileiras, baseando-se em estudos realizados nas diferentes pistas de testes do sítio de Araranguá/SC (GEVAERD et al., 2016; GOLTSMAN et al., 2013; GUERSON et al., 2016; OTTO et al., 2019). Com base nas evidências coletadas ao longo dos anos, verificou-se

que o desempenho dos sistemas HS-WIM em condições brasileiras foi satisfatório em todos os momentos em que existiu uma estrutura de pavimento adequada para a sua operação.

Em 2014, o governo federal do Brasil idealizou um plano de modernização da pesagem de veículos, cujo objetivo era organizar a transição que culminaria na implementação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM. Esse assunto foi abordado no artigo elaborado por Shinohara et al. (2016), que apresentou o projeto de fiscalização direta com sistemas HS-WIM e o seu respectivo modelo de transição através dos Postos Integrados Automatizados de Fiscalização (PIAFs). O artigo também detalhou as características das três tecnologias de pavimentação idealizadas e testadas no Brasil, especificamente para a instalação dos sistemas de pesagem em alta velocidade.

Assim como ocorreu em países como a França e a Polônia, as pesquisas que visaram à implementação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM no Brasil contribuíram significativamente com o desenvolvimento do estado da arte mundial da pesagem dinâmica em alta velocidade. Nesse contexto, o trabalho desenvolvido por Otto et al. (2016) possibilitou um melhor entendimento das propriedades mecânicas e elétricas de sensores piezoelétricos instalados em rodovias. Os resultados apresentados nesse artigo demonstraram que a sensibilidade de determinados sensores HS-WIM de alto desempenho variava de acordo com a posição da carga na superfície do sensor e que, portanto, o monitoramento dessa variável seria uma das formas de se reduzir as incertezas da pesagem em alta velocidade.

O artigo desenvolvido por Otto et al. (2019) abordou como a dinâmica dos veículos e, portanto, as forças transmitidas pelos eixos dos veículos ao pavimento geram incertezas para as medições de sistemas HS-WIM. Esse trabalho apresenta uma abordagem com potencial de aprimorar as medições de HS-WIM a partir da redução das incertezas causadas pela dinâmica do veículo em movimento.

No trabalho produzido por Guerson et al. (2019), os resultados de uma aplicação-piloto demonstraram que é possível aplicar inteligência aos processos de coleta de dados HS-WIM a fim de gerar informações úteis para a elaboração de ações para a redução do sobrepeso de veículos. Ainda no contexto da gestão dos dados HS-WIM, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) já havia coordenado uma pesquisa para a elaboração de um método de controle da qualidade da coleta de dados HS-WIM, adaptado às condições do tráfego rodoviário brasileiro (GUERSON et al., 2016b). Por fim, foi desenvolvido, também para as condições brasileiras, um método multicritérios para apoio à localização de sistemas HS-WIM na malha rodoviária do país (FRANCESCHI et al., 2019).

A experiência do Brasil com o uso de sistemas de pesagem em movimento contribuiu para os novos desenvolvimentos em direção à implementação de HS-WIM para fiscalização direta. Além dos desenvolvimentos técnicos, o Brasil investiu em avanços

nos aspectos legais e metrológicos com influência sobre os métodos e tecnologias de fiscalização do peso de veículos. Todos esses esforços, juntamente com o histórico de pesquisas e desenvolvimentos do país, tendem a contribuir para que, na década de 2020, haja a implementação efetiva e tecnicamente embasada da fiscalização direta com sistemas HS-WIM no território brasileiro.

2.6. Conclusões e diretrizes baseadas em evidências

O levantamento do estado da arte e da prática da fiscalização direta com HS-WIM buscou identificar diretrizes a respeito dessa modalidade de fiscalização, baseadas na experiência dos países que já a implementaram, bem como no nível mais alto de desenvolvimento da pesquisa sobre esse tema. Com base nesse objetivo delineado, foi desenvolvida uma estratégia de busca visando identificar os principais trabalhos, publicados no âmbito internacional, nos quais a fiscalização direta com HS-WIM foi abordada.

Considerando-se o contexto apresentado, o presente subcapítulo apresenta as conclusões sobre os processos de estudo e de análise do estado da arte e da prática no que diz respeito ao uso de sistemas HS-WIM para fiscalização direta. Essas conclusões se baseiam nas observações relatadas a partir da pesquisa ou da implementação dessa modalidade de fiscalização em diferentes países e são subdivididas em três tópicos distintos:

- Especificação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta.
- Implementação da fiscalização direta com HS-WIM.
- Operação da fiscalização direta com HS-WIM.

As conclusões específicas do escopo de cada um desses três tópicos são tratadas nas subseções a seguir.

2.6.1. Especificação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta

- Os processos que envolvem a especificação de sistemas HS-WIM compõem um esforço amplo, que tende a se beneficiar do envolvimento de múltiplos atores, incluindo: institutos de pesquisa; órgãos de regulamentação técnica e metrológica; órgãos de fiscalização rodoviária; e empresas do ramo dos sistemas inteligentes de transporte (GAJDA et al., 2016) (COTTINEAU et al., 2016).
- A escolha dos locais para a instalação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta deve considerar, de forma prioritária, o atendimento aos requisitos de desempenho do pavimento onde os sensores de carga serão implantados. Nesse sentido, quando necessário, uma nova seção de pavimento deve ser especificamente projetada e construída para a instalação dos sensores HS-WIM, uma vez que as propriedades do pavimento podem afetar a precisão do resultado da pesagem (BURNOS; RYS, 2017; POSPISEK, 2020; SHINOHARA et al., 2016).

- Ainda em relação à escolha dos locais de instalação do sistema HS-WIM, recomenda-se que sejam selecionados locais de instalação com baixo ou nenhum histórico de intervenções de conservação (ou seja, rodovias novas), uma vez que essas intervenções podem mascarar problemas nas camadas inferiores do pavimento e isso tende a influenciar na redução da precisão ou da durabilidade do sistema de pesagem (FUCIK et al., 2016).
- Para a especificação da solução tecnológica do sistema HS-WIM, é recomendável a utilização de acelerômetros e de medidores de temperatura na solução, pois suas saídas podem aperfeiçoar o cálculo da carga por eixo a partir da estimativa da deflexão real da rodovia (DOUPAL et al., 2012).
- Também é recomendável que a especificação da solução tecnológica do sistema HS-WIM considere a possibilidade de complementação dos sensores de carga com equipamentos que possibilitem as medições da posição das rodas no perfil transversal da pista e da temperatura da rodovia em contato com os sensores de carga. Isso porque essas variáveis podem impactar a sensibilidade das medições de carga, e o seu monitoramento possibilita a implementação de algoritmos capazes de aprimorar ou de invalidar o resultado da pesagem (DOUPAL et al., 2016; OTTO et al., 2016)
- Em relação à configuração de sensores de carga de uma solução HS-WIM para fiscalização direta, recomenda-se a utilização de, no mínimo, três linhas de sensores de carga de alto desempenho, o que tende tornar a pesagem mais precisa, além de contribuir para um percentual maior de medições válidas (FUCIK et al., 2016; GAJDA et al., 2018).
- Por fim, recomenda-se que a validação das medições seja uma função nativa dos sistemas HS-WIM fornecidos pelo mercado. Assim, essa função deve ser, preferencialmente, especificada como um requisito dos sistemas HS-WIM a serem contratados (DOUPAL et al., 2016).

2.6.2. Implementação da fiscalização direta com HS-WIM

- A aquisição em grande escala de equipamentos, sistemas e serviços, e a utilização da infraestrutura já implantada para sistemas de pedágio eletrônico são estratégias que tendem a contribuir para a redução dos custos de implantação de uma rede de sistemas HS-WIM (RONAY-TOBEL, 2020; RONAY-TOBEL et al., 2019).
- No processo de implementação de sistemas HS-WIM, recomenda-se a adoção de processos que promovam a transparência junto à indústria de transportes, incluindo a abertura de novos canais de comunicação com esses atores, o compartilhamento de dados e imagens da fiscalização com sistemas HS-WIM e a organização de uma ou mais sessões experimentais abertas, com a presença das principais organizações de transportadores, para testes e demonstrações de sistemas metrologicamente

certificados. No mesmo contexto, recomenda-se, também, a adoção de um período introdutório de adaptação em que os infratores sejam notificados, mas não sejam penalizados com base nas medições HS-WIM (RONAY-TOBEL, 2020; RONAY-TOBEL et al., 2019).

- Por fim, considerando-se a possibilidade de os primeiros transportadores, embarcadores e proprietários de veículos penalizados por meio de sistemas HS-WIM questionarem a validade das medições e recorrerem às seções impostas, recomenda-se que as organizações rodoviárias e que os órgãos metrológicos possuam, para pronta entrega a quem interessar, uma documentação detalhada dos processos de certificação e de operação dos sistemas de pesagem (POSPISEK, 2020).

2.6.3. Operação da fiscalização direta com HS-WIM

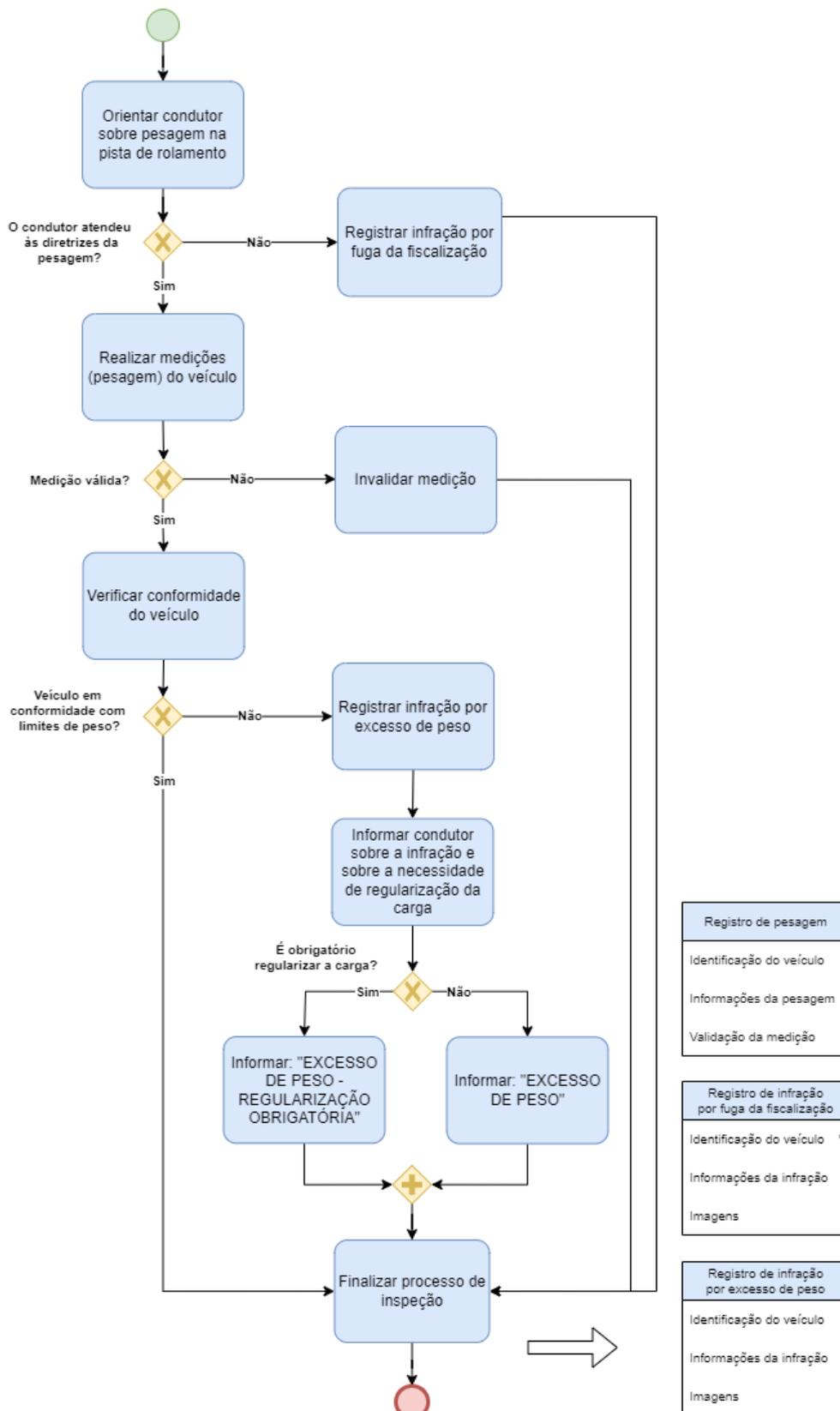
- Para o processo de operação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM, recomenda-se que a validação de medições seja utilizada como elemento-chave para assegurar que nenhum veículo seja multado de forma injusta (DOUPAL et al., 2012; DOUPAL et al., 2016; FUCIK et al., 2016; GAJDA et al., 2016; JACOB; COTTINEAU, 2016).
- Durante a operação da fiscalização direta com HS-WIM, os sistemas de pesagem podem perder desempenho de forma não previsível, mesmo que em um curto espaço de tempo após a sua calibração. Portanto, recomenda-se que a operação dos sistemas HS-WIM seja monitorada por meio da implementação de um sistema de controle de qualidade da coleta de dados HS-WIM, adaptado às condições do tráfego rodoviário brasileiro (BURNOS et al., 2019; GUERSON et al., 2016b; RONAY-TOBEL et al., 2019).
- Por fim, recomenda-se que o processamento das infrações por excesso de peso seja realizado a partir de regramentos bem definidos, desde o registro da infração até a aplicação de penalidades. Nesse contexto, também é recomendável que seja provido treinamento às partes envolvidas nesses processos que envolvem o gerenciamento dos dados de infrações, após o seu registro na rodovia (POSPISEK, 2020).

3. Diretrizes para a Operação da Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM

O levantamento do estado da arte e da prática da fiscalização direta com HS-WIM permitiu a identificação de diretrizes para a utilização de sistemas HS-WIM para fiscalização direta. Essas diretrizes se baseiam na pesquisa ou na prática da implementação dessa modalidade de fiscalização em diferentes partes do mundo. Assim, as orientações para a formulação de um modelo operacional para fiscalização direta com sistemas HS-WIM no Brasil deverão levar em consideração não somente as experiências e os níveis mais altos de desenvolvimento dessa tecnologia em nível internacional, mas também as particularidades do território brasileiro. Neste contexto, o presente capítulo busca descrever as principais diretrizes dos processos de operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta, de forma que possa ser utilizado como base para a especificação e para a normatização dessas soluções no Brasil.

Considerando-se a conjuntura apresentada, o fluxograma da Figura 8 apresenta uma síntese da operação da fiscalização direta com HS-WIM, a ser tratada em maior nível de detalhe ao longo deste capítulo.

Figura 8 – Fluxo de operação da fiscalização direta com HS-WIM



Fonte: FAPEU (2021)

Conforme mostrado na Figura 8, o processo de operação elaborado para os sistemas HS-WIM se inicia com a orientação voltada para os condutores sobre a pesagem a ser realizada na pista de rolamento e termina com uma nova orientação, também aos condutores, sobre a potencial infração e sobre a necessidade de se regularizar a carga.

Ao final do processo de inspeção, o sistema de fiscalização deverá gerar até três registros distintos para cada veículo passante, conforme ilustrado no final do fluxograma, do lado direito da imagem. Esses registros representam os conjuntos de dados e de imagens a serem gerados e enviados pelo sistema. Assim, o “Registro de Pesagem”, o “Registro de Infração por Fuga” e o “Registro de Infração por Excesso de Peso” serão as três possíveis saídas do sistema HS-WIM para fiscalização direta.

A validação das medições é um dos principais elementos mapeados no fluxograma da Figura 8. Esse aspecto que diferencia a fiscalização direta das demais aplicações de sistemas HS-WIM, como a pré-seleção ou o planejamento da fiscalização móvel. O procedimento de validação das medições deve ocorrer imediatamente após a pesagem, de forma a desconsiderar as medições que apresentem chance de terem sido realizadas fora dos níveis mínimos de desempenho estabelecidos. Assim, com um procedimento automático de validação das medições, é possível assegurar que não haja qualquer infração por excesso de peso registrada de forma injusta.

Outro aspecto importante, abordado no fluxograma da Figura 8, é a orientação dos condutores, a ser realizada através de Painéis de Mensagens Variáveis (PMVs), após a pesagem HS-WIM. Com a introdução da Lei nº 14.229, de 21 de outubro de 2021, todas as infrações por excesso de peso por eixo, detectadas além das tolerâncias admissíveis, passaram a estar passíveis de transbordo e/ou remanejamento da carga excedente. Nesse contexto, a lógica operacional desenvolvida abrange a situação atual e, também, comporta eventuais mudanças que os regramentos de registro de infrações e de aplicação de medidas administrativas poderão sofrer ao longo dos anos.

A descrição das diretrizes específicas propostas para a fiscalização direta com sistemas HS-WIM é subdividida em cinco etapas distintas, conforme relacionado nos itens que seguem:

- Orientação ao condutor para a pesagem HS-WIM.
- Pesagem HS-WIM.
- Controle de fuga da fiscalização.
- Orientação ao condutor após a pesagem HS-WIM.
- Regularização da carga.

Esses processos que compõem a operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta são tratados individualmente a partir das subseções que seguem. As diretrizes apresentadas são complementadas com um projeto-tipo, presente no Apêndice A,

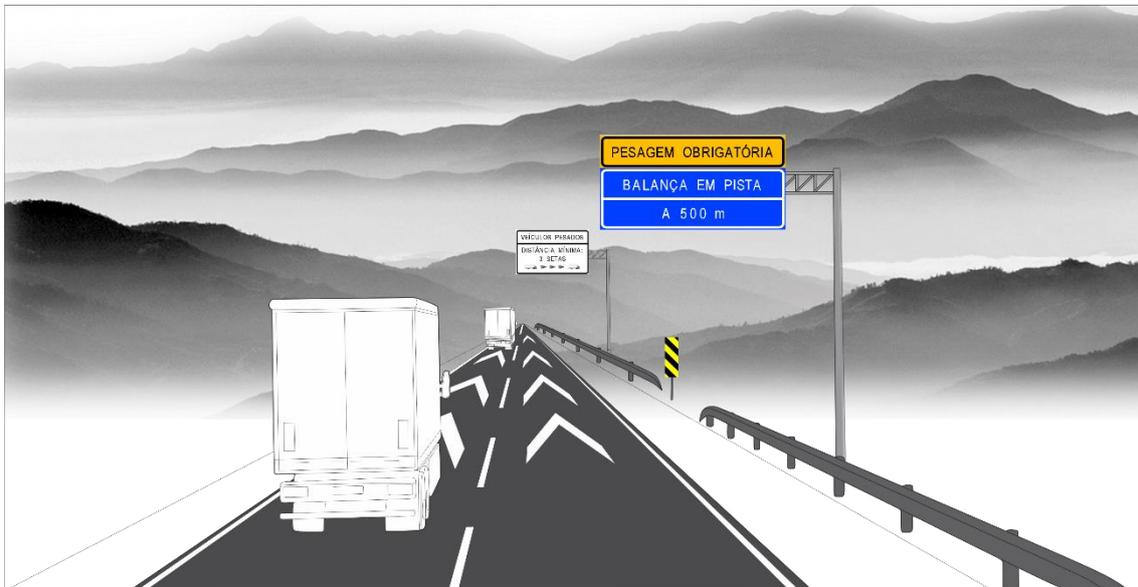
contendo os principais elementos que incidem sobre a operação dessa modalidade de fiscalização.

3.1. Orientação ao condutor para a pesagem HS-WIM

A operação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM deverá ser iniciada com a orientação aos condutores, antes do processo de pesagem. Nessa conjuntura, ao se aproximar do ponto de fiscalização, o condutor será informado sobre a aproximação do sistema HS-WIM. Além de ser informado sobre a pesagem em pista, o condutor será informado sobre a fiscalização com agente remoto e sobre a distância mínima necessária entre veículos para execução da pesagem (Figura 9).

A Figura 9 apresenta uma ilustração da pré-sinalização que antecede o local de implantação do sistema HS-WIM para fiscalização direta.

Figura 9 – Orientação ao condutor para a pesagem HS-WIM



Fonte: FAPEU (2021)

Na Figura 9, são apresentados os principais elementos de orientação ao condutor antes da pesagem em alta velocidade. Nessa ilustração, verifica-se que as sinalizações de indicação (azul) e de advertência (amarela) compõem placas de sinalização únicas, de forma a evitar a quantidade excessiva de placas, que podem distrair os condutores em relação às ações a serem tomadas enquanto mantém a segurança da condução do veículo. No mesmo contexto, a sinalização vertical e as setas posicionadas na pista de rolamento orientam os condutores sobre a distância mínima entre veículos, necessária para os processos de medição.

O processo de orientação ao condutor para a pesagem HS-WIM deverá atender às seguintes diretrizes específicas:

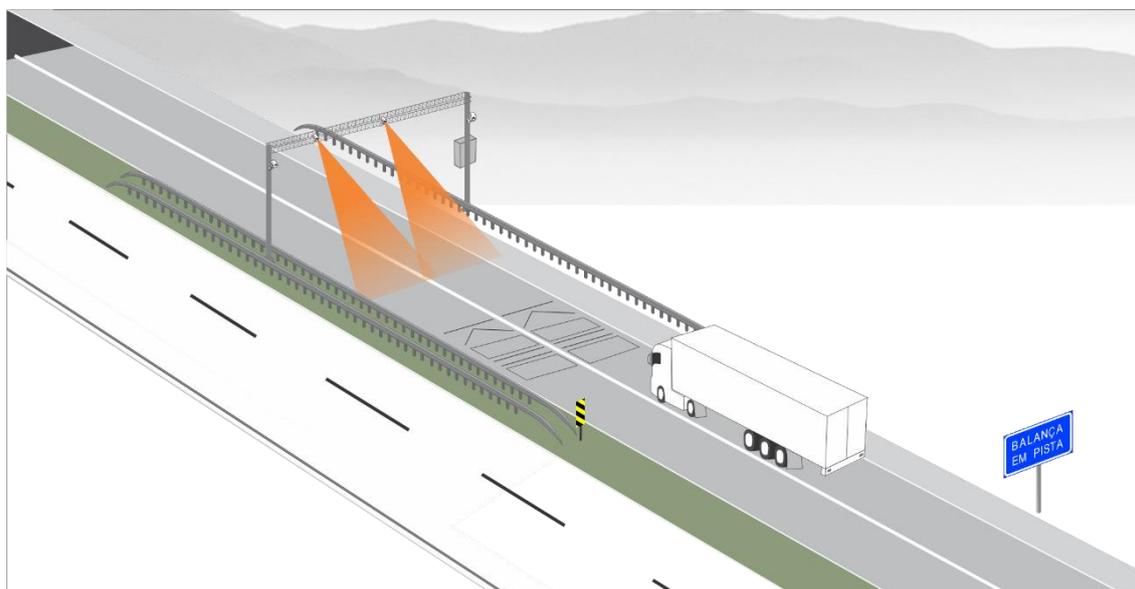
- A orientação ao condutor deverá ser realizada através de sinalização vertical e horizontal, em concordância com os requisitos do Volume III do Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito do Conselho Nacional de Trânsito (BRASIL, 2014) e/ou outros regramentos vigentes.
- A sinalização de orientação ao condutor deverá ser estruturada com base nas diretrizes do projeto-tipo dos sistemas HS-WIM para fiscalização direta. As soluções previstas nesse projeto-tipo deverão ser ajustadas e/ou complementadas, considerando-se as especificidades de cada local em que o sistema HS-WIM será instalado.
- O processo de orientação ao condutor poderá ser complementado com PMVs, posicionados em locais anteriores ao ponto de pesagem.

A orientação ao condutor para a pesagem HS-WIM deve ser estruturada com o objetivo de informar os usuários da via sobre a modalidade de fiscalização executada, sobre o posicionamento do sistema de pesagem na pista de rolamento e sobre as diretrizes básicas desse processo de inspeção. O projeto-tipo, que contém os principais elementos que incidem sobre esse processo de orientação ao condutor, está presente no Apêndice A deste produto.

3.2. Pesagem HS-WIM

A pesagem dos veículos com sistemas HS-WIM deverá acontecer sem que os veículos necessitem reduzir a velocidade. A inspeção do peso dos veículos será realizada de forma automatizada em todas as faixas, diretamente na pista de rolamento das rodovias. Nesse sentido, a Figura 10 apresenta uma ilustração desse sistema de fiscalização, idealizado para operação em condições nacionais brasileiras.

Figura 10 – Leiaute básico de um sistema HS-WIM para fiscalização direta em condições brasileiras



Fonte: FAPEU (2021)

Na área de fiscalização, localizada na pista de rolamento da via, o processo de pesagem dinâmica com sistema HS-WIM deverá ocorrer de acordo com as seguintes diretrizes:

- O processo de fiscalização com sistema HS-WIM deverá ser conduzido em conformidade com os requisitos da Resolução nº 459/2013, do CONTRAN e/ou outro regramento vigente.
- A solução tecnológica que atua no processo de pesagem HS-WIM deverá ser composta por sistemas e equipamentos que permitam a execução das seguintes funcionalidades no local de inspeção: classificação veicular; medição dos pesos por eixo/grupo de eixos; medição do Peso Bruto Total (PBT); captura de imagem frontal com Leitura Automática de Placas (LAP); captura de imagem panorâmica e videomonitoramento.
- A classificação de veículos pesados deve ser realizada de forma a possibilitar a identificação dos limites de peso de todos os veículos passantes. Assim, essa classificação deve considerar a divisão de classes prevista na Portaria nº 63/2009 do DENATRAN e/ou outro regramento vigente.
- As medições do PBT e do peso por eixo/grupo de eixos deverão ser realizadas por meio de sistema de pesagem homologado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), para fins de fiscalização do peso de veículos rodoviários.
- O sistema de pesagem deverá possuir mecanismo automático de validação das medições, através do qual o sistema deverá identificar e invalidar as medições com

eventuais chances de apresentarem erros superiores aos erros máximos admissíveis estabelecidos pelo regulamento metrológico vigente. A quantidade de medições invalidadas não deverá superar 40% do total de registros de pesagem.

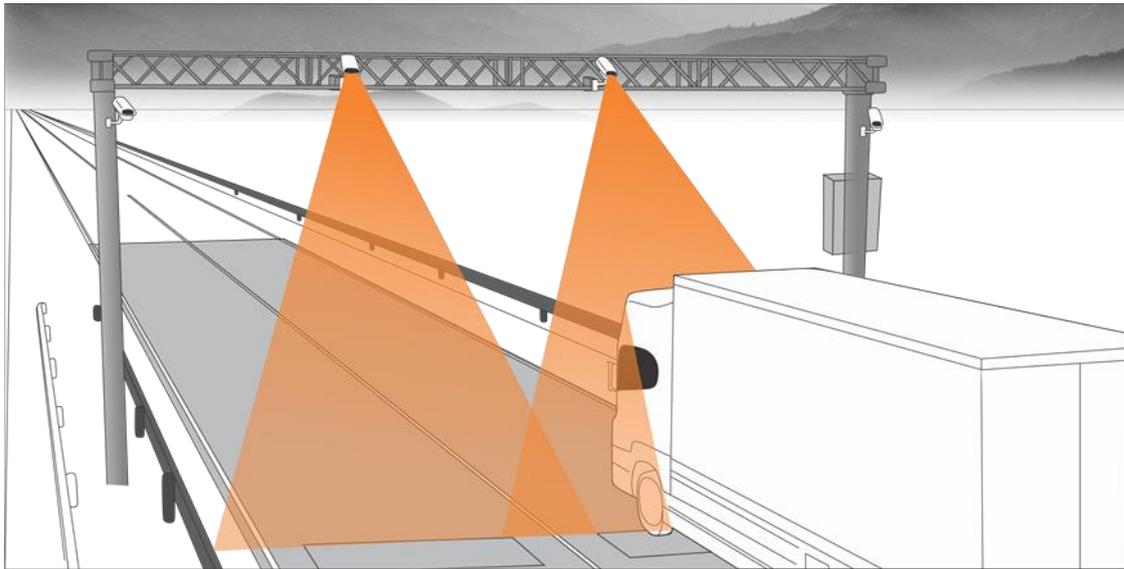
- As medições de peso deverão ser continuamente monitoradas por meio de ferramenta de controle de qualidade de dados, com capacidade de identificar eventuais perdas de desempenho da pesagem entre os eventos periódicos de calibração. A fiscalização deverá ser interrompida caso uma perda significativa de desempenho do sistema de pesagem seja confirmada.
- Os dispositivos de captura de imagens frontais com LAP deverão registrar imagens frontais de todos veículos em infração por excesso de peso e permitir a extração automática dos caracteres das placas de veículos.
- O dispositivo de captura de imagem panorâmica deverá registrar a imagem lateral de todos os veículos infratores no momento da pesagem, de forma que caracterize o veículo e permita a identificação da sua configuração de eixos.
- O sistema de videomonitoramento deverá operar de forma contínua e deverá registrar a seção transversal da via, permitindo a visualização de todas as faixas de tráfego do local fiscalizado.
- Todos os equipamentos e sistemas da solução de pesagem HS-WIM deverão estar aptos a operar de forma contínua, com o mesmo padrão de desempenho em diferentes condições de iluminação e de temperatura.

O processo de pesagem HS-WIM deverá viabilizar a inspeção de veículos com elevado nível de confiabilidade, dentro dos intervalos de erros estipulados pelo regulamento metrológico vigente. Para tanto, a validação das medições e o controle da qualidade dos dados de pesagem são dois pilares da fiscalização direta com sistemas HS-WIM, que deverão ser incorporados pelos fornecedores de soluções tecnológicas e responsáveis pela operação e manutenção desses sistemas.

3.3. Controle de fuga da fiscalização

O controle de fuga será um processo relevante para a fiscalização do peso de veículos com sistemas HS-WIM, pois poderá incentivar, de forma coercitiva, que as diretrizes para pesagem de veículos sejam respeitadas nas áreas de fiscalização. Para um contexto de fiscalização direta com sistemas HS-WIM, o controle e a detecção de fuga deverão ocorrer através do registro fotográfico de veículos trafegando pelo acostamento, entre faixas, na contramão, ou em outra situação em que haja o intuito de burlar o processo de fiscalização. Nesse sentido, a Figura 11/Figura 10 apresenta uma ilustração desse sistema de controle em operação.

Figura 11 – Controle de fuga por trafegar fora do sistema de pesagem



Fonte: FAPEU (2021)

Na Figura 11, o veículo trafega parcialmente pelo acostamento, impedindo que a pesagem seja realizada de forma efetiva. Diante dessa situação, os dispositivos de imagem localizados no pórtico à frente dos sensores de carga realizam o registro dessa infração, possibilitando que os condutores sejam posteriormente penalizados por não se submeterem à fiscalização de peso.

O processo de controle de fuga da fiscalização com sistemas HS-WIM deverá ser executado com base nas seguintes diretrizes específicas:

- O controle de fuga da fiscalização com sistema HS-WIM deverá ser conduzido em conformidade com os requisitos da Portaria nº 870/2010, do DENATRAN e/ou outro regramento vigente.
- A solução tecnológica que atua no processo de controle de fuga da pesagem deverá ser composta por sistemas e equipamentos que permitam a captura de imagens frontais e panorâmica de veículos que, deliberadamente, não atenderem às diretrizes da pesagem obrigatória de veículos pelo sistema HS-WIM.
- O controle de fuga deverá utilizar os mesmos dispositivos de registro de imagens utilizados no processo de pesagem HS-WIM, como base para a sua operação.
- Os dispositivos de captura de imagens frontais com LAP deverão registrar imagens frontais de todos veículos trafegando pelo acostamento, entre faixas, na contramão, ou em outra situação em que haja o intuito de burlar o processo de fiscalização. Os dispositivos também deverão permitir a extração automática dos caracteres das placas de veículos.
- O dispositivo de imagem panorâmica deverá registrar a imagem lateral de todos os veículos no momento do cometimento da irregularidade, de forma que caracterize a

infração e o veículo. A imagem panorâmica deve mostrar a seção transversal da via, de forma a visualizar as faixas de tráfego do local fiscalizado.

- Caso haja área de regularização de carga nas imediações do sistema HS-WIM, o controle de fuga deverá contar com um dispositivo adicional de captura de imagem panorâmica, que possibilite o registro de imagem por um ângulo lateral traseiro, de forma a mostrar o veículo e a mensagem exibida no PMV. Esse registro de imagem deverá ser utilizado na fiscalização de veículos que, indevidamente, deixarem de adentrar as áreas de regularização de carga.
- Todos os dispositivos de imagem da solução de controle de fuga deverão estar aptos a operar de forma contínua, com o mesmo padrão de desempenho em diferentes condições de iluminação.

O controle de fuga da fiscalização deverá ser conduzido com o objetivo central de minimizar as tentativas de evitar ou de burlar o processo de fiscalização. No entanto, caso a organização responsável pela fiscalização do excesso de peso opte por tornar obrigatória a regularização imediata dos veículos com necessidade de transbordo e/ou remanejamento da carga excedente, o sistema de controle de fuga poderá incorporar dispositivos que viabilizem o monitoramento do cumprimento dessa obrigatoriedade.

3.4. Orientação ao condutor após a pesagem

A orientação após a pesagem de veículos terá como objetivo informar o condutor sobre a eventual ocorrência de infração por excesso de peso e sobre a obrigatoriedade de regularização imediata da carga excedente. Assim, essa orientação ao condutor deverá ser executada através de painéis de mensagens variáveis (PMVs), posicionados após os sensores de pesagem, no sentido do tráfego, com operação individual para cada faixa monitorada.

O processo de orientação ao condutor, que ocorre após a pesagem HS-WIM, é ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Mensagem de orientação ao condutor após a pesagem HS-WIM



Fonte: FAPEU (2021)

Conforme demonstrado na Figura 12, deverá haver um PMV dedicado para cada faixa da pista de rolamento em que os sensores de carga serão instalados. Enquanto não houver ocorrência de excesso de peso, o painel deverá se manter desativado.

A orientação ao condutor após a pesagem HS-WIM deverá ocorrer de acordo com as seguintes diretrizes:

- A mensagem “EXCESSO DE PESO – REGULARIZAÇÃO OBRIGATÓRIA” será exibida em casos em que o excesso de peso culmina em uma necessidade de transbordo e há área designada para transbordo nas proximidades do sistema HS-WIM. Por sua vez, a mensagem “EXCESSO DE PESO” será exibida diante de infrações por sobrepeso veicular em que não há necessidade de transbordo, ou quando não há área designada para transbordo, nas imediações do sistema HS-WIM.
- Os PMVs devem ser projetados sobre pórticos ou semipórticos, de forma a exibir mensagens visíveis por um período de dois segundos de duração para cada veículo passante.
- Os PMVs utilizados deverão possuir capacidade para exibir 3 linhas de texto em tom amarelo, com altura mínima de caracteres de 30 cm.
- A proporção largura-altura dos caracteres deve ser de, no mínimo, 0,7.
- O espaçamento entre os caracteres de uma palavra deve ser de, no mínimo, 25% da altura do caractere.
- O espaçamento entre as palavras em uma mensagem deve ser de, no mínimo, 75% da altura do caractere.

- O espaçamento entre as linhas da mensagem deve ser de, no mínimo, 50% da altura do caractere.

Sempre que possível, o processo de orientação ao condutor após a pesagem HS-WIM deverá ser realizado de acordo com as diretrizes do *Manual de Dispositivos Uniformes de Controle de Tráfego*, da Administração Federal de Rodovias dos Estados Unidos (FHWA, 2009).

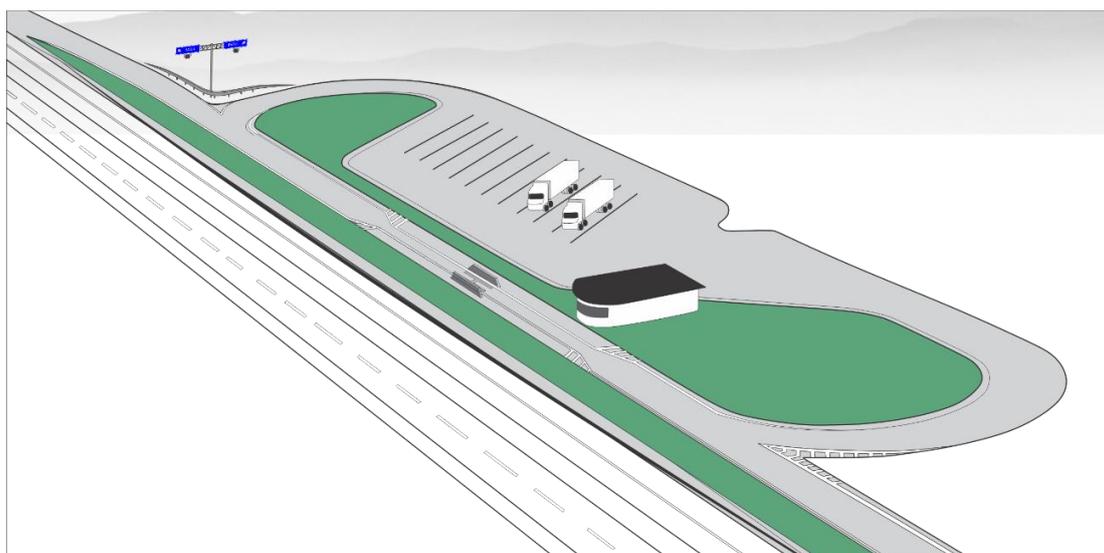
Quando houver proximidade do sistema de pesagem HS-WIM com uma área propícia para o cumprimento de medidas administrativas, os dispositivos de orientação ao condutor, após a pesagem, deverão ser acompanhados de sinalização vertical complementar, implantada com o intuito de informar os usuários sobre a aproximação da área de regularização de carga.

3.5. Regularização da carga

Os sistemas HS-WIM deverão operar de forma complementar aos demais métodos atualmente utilizados no controle do sobrepeso veicular, contribuindo com a promoção dos níveis de inteligência e de efetividade alcançados por esses métodos e usufruindo da estrutura física de operação desenvolvida ao longo dos anos. Assim, sempre que possível, deverá haver integração operacional dos sistemas HS-WIM com as áreas de regularização de cargas em operação nas rodovias federais concedidas, em casos onde for possível a implantação de sistemas HS-WIM nas imediações de Postos de Pesagem Veicular (PPVs) existentes.

Na Figura 13, há uma ilustração de um processo de regularização de carga, conduzido no pátio de estacionamento de um PPV.

Figura 13 – Regularização de carga no pátio de estacionamento de um PPV



Fonte: FAPEU (2021)

O processo de regularização de veículos com necessidade de transbordo e/ou remanejamento da carga excedente deverá ser conduzido de acordo com as seguintes diretrizes:

- O condutor deverá possuir meios para se informar sobre o tipo de excesso de peso detectado, para que possa regularizar carga do veículo. Essa informação poderá ser transmitida ao condutor através de um terminal de consulta dedicado ou por meio de integração tecnológica com outros meios disponíveis, tais como aplicativos de celular, mensagens de texto ou guichês de autoatendimento.
- O condutor deverá testar a regularização efetuada, de forma a verificar a conformidade com os regulamentos vigentes, antes de seguir viagem. Assim, recomenda-se a utilização de uma balança para conferência do peso do veículo durante o seu processo de regularização.
- Em viagens de longa distância, a passagem de veículos por múltiplos sistemas HS-WIM deverá ser utilizada com intuito de verificar o cumprimento das indicações de remanejamento e/ou de transbordo realizadas.

Quando um sistema HS-WIM for instalado nas imediações de um PPV, as áreas de regularização de carga desses postos já contarão com a infraestrutura necessária para viabilizar essa operação.

4. Considerações Finais

O presente trabalho deu sequência ao processo de definição dos conceitos operacionais da fiscalização direta com sistemas HS-WIM no Brasil e forneceu as primeiras diretrizes específicas para a normatização dessa modalidade de fiscalização. Para subsidiar esse processo de normatização, foi realizada uma pesquisa sobre o estado da arte e da prática no que diz respeito à implementação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM em diferentes países do mundo. A pesquisa identificou recomendações relevantes para o desenvolvimento dos programas de fiscalização com HS-WIM e forneceu um panorama global sobre os principais desafios enfrentados na sua implementação. Como conclusão, observou-se que o aspecto mais básico para o sucesso da implementação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta é a adoção de métodos e de procedimentos que assegurem que nenhum veículo pesado seja multado de forma injusta.

A introdução de uma modalidade de fiscalização com sistemas HS-WIM na pista de rolamento das rodovias deve ser feita de forma transparente, com embasamento técnico e com confiabilidade. Assim, condutores, transportadores e embarcadores deverão ter acesso a informações sobre essa nova forma de se fiscalizar o peso de veículos. No mesmo contexto, os métodos de certificação e os procedimentos de verificação dos equipamentos de inspeção deverão ser amplamente divulgados. Recomenda-se, ainda, a adoção de um período de transição, para que os usuários da rodovia se tornem familiarizados com os novos procedimentos de fiscalização e, também, para que a rede de coleta de dados tenha as suas especificidades operacionais validadas.

A validação das medições e o controle de qualidade de dados de pesagem são aspectos fundamentais para o sucesso de um programa de fiscalização direta com sistemas HS-WIM. Com um processo automatizado de validação das medições, torna-se mínima a chance de ocorrência de medições de peso fora dos níveis de desempenho para os quais foram testados e homologados. No mesmo sentido, o controle de qualidade dos dados de pesagem, através de técnicas já difundidas nos âmbitos nacional e internacional, permitirá identificar qualquer perda de calibração do sistema que possa ocorrer de forma não antecipada.

Assim, o presente trabalho buscou reunir recomendações baseadas em evidências e contribuir com o processo de regulamentação e de normatização da fiscalização direta

com sistemas HS-WIM no Brasil. Para isso, o trabalho também provém diretrizes operacionais específicas para fiscalização direta com sistemas HS-WIM, que poderão embasar a formulação de um programa de fiscalização efetivo.

REFERÊNCIAS

- ANTT. **“A pesagem dinâmica é a ferramenta essencial para conseguirmos essa evolução na rodoviária do país”, afirma Guilherme Bianco**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/201ca-pesagem-dinamica-e-a-ferramenta-essencial-para-conseguirmos-essa-evolucao-na-rodoviaria-do-pais201d-afirma-guilherme-bianco>. Acesso em 12 dez. 2021.
- BRASIL. **Lei nº 14.229 de 21 de outubro de 2021**. Congresso Nacional: Brasília, 2021.
- BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN. **Portaria nº 870 de 26 de outubro de 2010**. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito, 2010.
- BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN. **Resolução nº 459 de 29 de outubro de 2013**. Conselho Nacional de Trânsito: Brasília, 2013.
- BURNOS, P.; GAJDA, J.; SROKA, R. **Accuracy requirements for weigh-in-motion systems for direct enforcement**. ICWIM8: 8th International Conference on Weigh-in-Motion. **Anais...Praga**: 2019
- BURNOS, P.; RYS, D. The effect of flexible pavement mechanics on the accuracy of axle load sensors in vehicle weigh-in-motion systems. **Sensors (Switzerland)**, v. 17, n. 9, 2017.
- COTTINEAU, L.-M. et al. **Direct Enforcement of Overload by WIM**. ICWIM7: 7th International Conference on Weigh-in-Motion & PIARC workshop. **Anais...Foz do Iguaçu**: 2016
- CHOU, C. **Applying the High-Speed Weigh-In-Motion to Law Enforcement**. 1º Seminário Internacional de Pesagem em Movimento: Florianópolis, 2011.
- DOUPAL, E. et al. **One Year “WIM Direct Enforcement” Experiences in Czech Republic**. ICWIM6: 6th International Conference on Weigh-In-Motion. **Anais...Dallas**: 2012
- DOUPAL, E.; ADAMEOVA, Z.; KRIZ, I. **Start of direct enforcement in the Czech Republic**. ICWIM7: 7th International Conference on Weigh-in-Motion & PIARC workshop. **Anais...Foz do Iguaçu**: 2016.
- FRANCESCHI, L. et al. **Elaboração de um Processo Multicritérios para Apoio à Localização de Postos de Pesagem em Malhas Rodoviárias**. 33º Congresso Anual da ANPET. **Anais...2019**

FUCIK, O. et al. **WIM Enforcement Systems - in the Field Experience**. 7th International Conference on Weigh-in-Motion. **Anais...Foz do Iguaçu: 2016**

GAJDA, J.; BURNOS, P.; SROKA, R. **Weigh-in-Motion systems for direct enforcement in Poland**. ICWIM7: 7th International Conference on Weigh-in-Motion & PIARC workshop. **Anais...2016**

GAJDA, J.; BURNOS, P.; SROKA, R. Accuracy Assessment of Weigh-in-Motion Systems for Vehicle's Direct Enforcement. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 10, n. 1, p. 88–94, 2018.

GEVAERD, B. et al. **Evaluation of a High-Speed Weighing Station on a Brazilian Highway**. ICWIM7: 7th International Conference on Weigh-In-Motion & PIARC workshop. **Anais...Foz do Iguaçu: 2016**

GOLTSMAN, H. et al. **Test of WIM sensors and systems under Brazilian conditions**. HVPari: International Conference on Heavy Vehicles. **Anais...Paris: 2018**

GUERSON, L. et al. **Test-site for evaluation of high-speed WIM and ITS solutions in Brazilian conditions**. ICWIM7 7th International Conference on Weigh-in-Motion & PIARC workshop. **Anais...Foz do Iguaçu: 2016a**

GUERSON, L. et al. **Development of a WIM Data Quality Management System for the Brazilian Federal Road Network**. ICWIM7 7th International Conference on Weigh-in-Motion & PIARC workshop. **Anais...Foz do Iguaçu: 2016b**

HANG, W.; XIE, Y.; HE, J. Practices of using weigh-in-motion technology for truck weight regulation in China. **Transport Policy**, 2013.

JACOB, B.; COTTINEAU, L.-M. **Weigh-in-motion for Direct Enforcement of Overloaded Commercial Vehicles**. Transportation Research Procedia. **Anais...2016**

JACOB, B.; VAN LOO, H. **Standardization of Weigh-in-Motion in Europe**. ICWIM6: 6th International Conference of Weigh-in-Motion. **Anais...Dallas:2012**

KLEIN, E. et al. **High-speed Weigh-in-motion Road Tests in France**. ICWIM8: 8th International Conference on Weigh-in-Motion. **Anais...Praga: 2019**

OTTO, G. et al. **Study of WIM Sensor Electro-Mechanical Behavior: a Model in the Frequency Domain**. ICWIM7: 7th International Conference on Weigh-in-Motion & PIARC workshop. **Anais...Foz do Iguaçu: 2016**

OTTO, G.; MOMM, L.; VALENTE, A. M. **Study of the dynamic Effects of Loads and Actions to reduce the Uncertainties**. ICWIM8: 8th International Conference on Weigh-in-Motion. **Anais...Praga: 2019**

POSPISEK, T. **Challenges of HS-WIM Direct Enforcement and Best Practices with Local Legislation**. Zurique: 2020.

RONAY-TOBEL, B. et al. **Weight Enforcement Network of Hungary**. ICWIM8: 8th International Conference on Weigh-in-Motion. Anais...Praga: 2019.

RONAY-TOBEL, B. Effect of Weight in Motion Detection System in Hungary. **International Journal for Traffic and Transport Engineering**, v. 10, n. 1, p. 41–47, 2020.

SHINOHARA, K. et al. **Brazilian PIAF model and the direct enforcement project**. 7th International Conference on Weigh-in-Motion & PIARC workshop. **Anais...Foz do Iguaçu**: 2016

VAN LOO, H.; ŽNIDARIČ, A. **Guide for Users of Weigh-In-Motion - an Introduction to Weigh-in-Motion**. 1. ed. ISWIM, International Society for Weigh-in-Motion, 2019.

APÊNDICE A – Projeto de ITS (Solução Tecnológica e Sinalização)



CCR *ViaCosteira*

CCR Via Costeira
Rua Silvio Burigo, 555 - Oficinas
CEP. 88702-500 - Tubarão - SC
0800-255-5550 - ouvidoria.viacosteira@grupoccr.com.br