



Testes de Campo e Coleta de Subsídios para Operacionalização das Diretrizes Técnicas e Operacionais para o Funcionamento de Sistemas HS-WIM

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**

**Testes de Campo e Coleta de Subsídios para Operacionalização das
Diretrizes Técnicas e Operacionais para o Funcionamento de
Sistemas HS-WIM**

Março de 2024



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

Lista de Figuras

Figura 1	Estrutura do PCBE dimensionado de acordo com a metodologia francesa	11
Figura 2	Leiaute do sistema HS-WIM analisado	12
Figura 3	Ex. de incerteza intrínseca do tipo física: módulo de cisalhamento do pavimento.....	13
Figura 4	Ex. de incerteza intrínseca epistêmica: extrapolação do PBT diário máximo	14
Figura 5	Ex. de incerteza epistêmica estatística: intervalo de confiança para o PBT	14
Figura 6	Resumo da classificação de incertezas	15
Figura 7	Processo de calibração dos sistemas de pesagem em movimento (fev. de 2023).....	17
Figura 8	Resumo das incertezas identificadas nos Sistemas de Pesagem em Movimento	19
Figura 9	Diagrama de Pareto para as classes de veículos do PPV.....	25
Figura 10	Diagrama de Pareto para as classes de veículos do HS-WIM.....	26
Figura 11	Classes do HS-WIM que apresentam mais mensagens de erro	32
Figura 12	Gráfico de erros	35
Figura 13	Imagens frontais da frota considerando os diferentes cenários.....	38
Figura 14	Imagens das placas frontais.....	38
Figura 15	Imagens panorâmicas frontais considerando os diferentes cenários.....	39
Figura 16	Imagens panorâmicas laterais considerando os diferentes cenários	39
Figura 17	Imagens panorâmicas traseiras considerando os diferentes cenários	39
Figura 18	Imagens traseiras da frota considerando os diferentes cenários	40
Figura 19	Imagens das placas traseiras	40

Lista de Quadros

Quadro 1	Resumo de processamento de dados: filtros aplicados	23
Quadro 2	Quadro de frequências para as classes do PPV	24
Quadro 3	Quadro de frequências para as classes do HS-WIM.....	26
Quadro 4	Compatibilização de classificações	28
Quadro 5	Resumo dos intervalos de confiança (95%).....	31
Quadro 6	Classes e seus limites de PBT	34
Quadro 7	Porcentagem de cada conjunto de amostras e a média dos erros absoluto	35

Sumário

1. Introdução.....	9
2. Sistemas de Pesagem em Movimento: PPV e HS-WIM	11
3. Incertezas Associadas a Sistemas de Engenharia	13
4. Classificação de Incertezas para os Sistemas de Pesagem em Movimento	17
5. Análise do Desempenho dos Sistemas Quanto à Tarefa de Classificação.....	21
5.1. Processamento dos dados: filtros aplicados	21
5.1.1. Filtros de data	21
5.1.2. Filtros de Identificação.....	22
5.1.3. Filtros de erros de classificação	22
5.1.4. Filtros de velocidade	22
5.1.5. Filtros de frequência	22
5.2. Classes dos veículos mais frequentes	23
5.3. Compatibilização das classificações	27
5.4. Estimativa de intervalos de confiança para uma proporção populacional.....	29
5.5. Proporção de veículos “p” cuja classe do HS-WIM é compatível com a classe do PPV	30
6. Análise do Desempenho dos Sistemas Quanto ao Excesso de Carga	33
7. Análise das Imagens para Registro de Identificação	37
8. Conclusões	41
REFERÊNCIAS	45

1. Introdução

Nos últimos anos, o Brasil tem passado por um processo de modernização e de avanço das tecnologias automatizadas de fiscalização de excesso de peso, especialmente por meio de sistemas de pesagem em movimento em alta velocidade, conhecidos como *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM). Esse avanço tem sido impulsionado por desenvolvimentos técnicos, metrológicos e legais que favorecem a utilização dos sistemas HS-WIM para fiscalização direta. Como resultado, projetos como o Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) têm como objetivo principal promover o avanço dessas tecnologias, com foco na utilização dos sistemas HS-WIM.

Por meio de pesquisas realizadas, foram elaborados produtos anteriores, como "Documentos Técnicos para Subsidiar a Normatização do Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso", "Diretrizes para o Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso" e "Minuta de Normativo com Diretrizes Técnicas e Parâmetros de Desempenho para a Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM".

Além disso, a implementação da fiscalização direta de peso, efetuada por sistemas HS-WIM, não substituir os métodos já implementados para controle do excesso de peso, mas os complementa, possibilitando uma rede de controle mais ampla e eficaz. A tecnologia HS-WIM, apesar de promissora, ainda enfrenta desafios operacionais, como orientar os condutores sobre o excesso de carga e adotar procedimentos administrativos adequados.

Neste contexto, a qualidade técnica da instalação dos sistemas HS-WIM é fundamental para garantir a precisão e confiabilidade da pesagem. A padronização dos protocolos operacionais visa assegurar que nenhum veículo seja multado injustamente, promovendo eficiência e segurança no transporte rodoviário. Ao acompanhar o desempenho dos sistemas de pesagem ao longo do tempo, é possível garantir que os veículos estejam dentro dos limites de peso estabelecidos, aumentando a segurança nas estradas e promovendo o cumprimento das regulamentações em relação ao peso máximo permitido para veículos de carga.

Este documento, intitulado "Testes de Campo e Coleta de Subsídios para Operacionalização das Diretrizes Técnicas e Operacionais Desenvolvidas", tem como objetivo avaliar o desempenho do sistema HS-WIM de acordo com o Produto 3, que

consiste em uma minuta de normativo desenvolvida para assegurar a qualidade e padronizar os protocolos de operação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM.

O segundo capítulo deste documento aborda detalhes sobre o sítio de pesquisas de pesagem em movimento, fornecendo uma visão geral da infraestrutura existente. Isso inclui uma descrição da Estação Integrada (EI) e das pistas experimentais, com informações específicas sobre o Pavimento de Concreto Betuminoso Espesso (PCBE) e o Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA).

O Capítulo 3 trata das incertezas associadas a sistemas de engenharia que tem grande relevância, pois influencia diretamente a confiabilidade e a precisão dos sistemas. A análise e mitigação destas incertezas são essenciais para garantir resultados confiáveis e seguros.

No Capítulo 4, propõe-se a realização de uma análise estatística da efetividade dos sistemas de pesagem em movimento HS-WIM na tarefa de classificação. A precisão na atribuição de uma classe específica a cada veículo, considerando fatores como peso, dimensões e carga transportada, não apenas otimiza a eficiência operacional, mas também acelera os procedimentos de fiscalização direta.

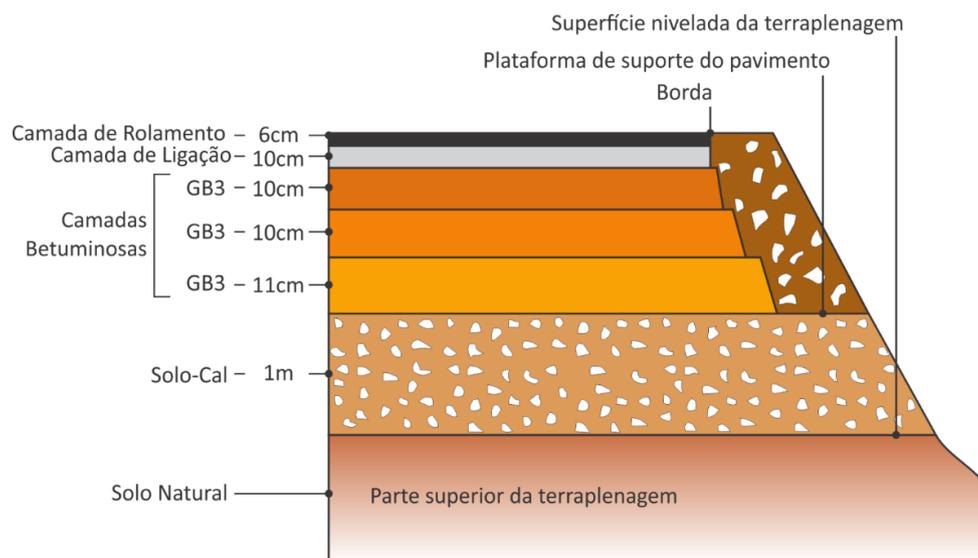
No quinto capítulo, o foco está na avaliação exclusiva da informação de peso excedente, abordando tanto o Peso Total Bruto (PBT) quanto o peso por eixo ou grupo de eixos. O intuito é examinar o desempenho do sistema instalado, principalmente a sua eficácia em identificar irregularidades relacionadas à violação de peso excessivo.

O Capítulo 6, por sua vez, aborda o registro de identificação do veículo por meio de imagens. É fundamental que as imagens capturadas conservem sua qualidade, independentemente das condições climáticas e do momento do dia. E por fim, no Capítulo 7, são prestadas as considerações finais.

2. Sistemas de Pesagem em Movimento: PPV e HS-WIM

O sistema *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) escolhido para fazer a análise neste produto está localizado no trecho da pista experimental do Sítio de Pesquisas de Araranguá/SC, composto por Pavimento de Concreto Betuminoso Espesso (PCBE) – uma das soluções de estudo de sistemas de pesagem em diferentes concepções de estruturas de pavimentos. O pavimento deste trecho foi dimensionado segundo a metodologia francesa, ilustrada na Figura 1, visando a fiscalização direta, com estrutura e geometria atendendo aos critérios definidos na “Classe I – Excelente” da especificação europeia COST 323 (COST Project, 1999), estabelecida para os sistemas HS-WIM.

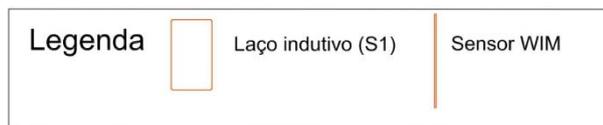
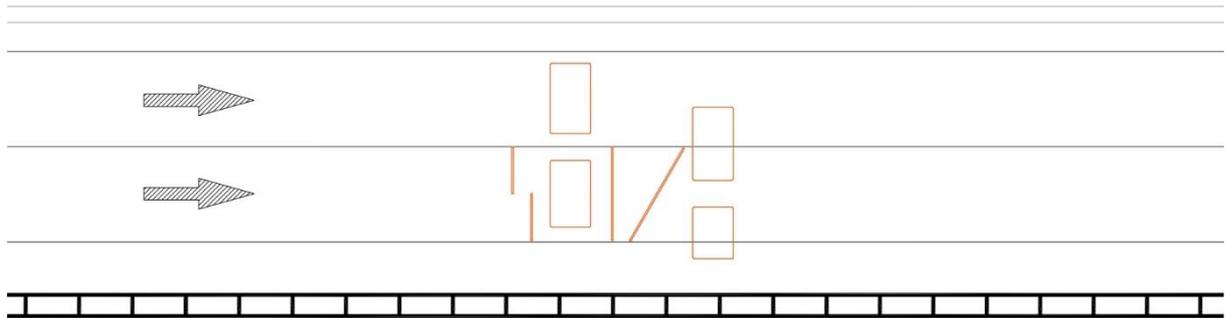
Figura 1 – Estrutura do PCBE dimensionado de acordo com a metodologia francesa



Fonte: FAPEU (2024)

O sistema HS-WIM em questão é composto por laços indutivos e sensores HS-WIM, dispostos de acordo com a Figura 2, e consiste em um dos sistemas mais recentes do sítio de pesquisas, instalado em novembro de 2022.

Figura 2 – Leiaute do sistema HS-WIM analisado



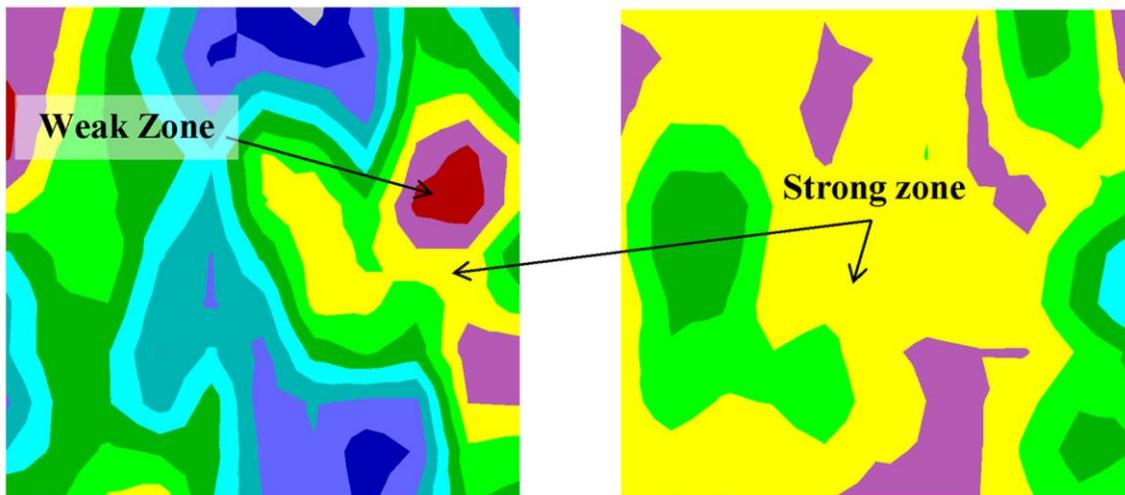
Fonte: FAPEU (2024)

3. Incertezas Associadas a Sistemas de Engenharia

Os sistemas de pesagem em movimento, assim como qualquer outro sistema de engenharia, possuem incertezas atreladas ao processo de medição que se propagam para os resultados. Uma maneira útil de categorizar essas incertezas é fazer a diferenciação entre incertezas “intrínsecas” e “epistêmicas”.

As incertezas são ditas intrínsecas quando estiverem relacionadas à natureza dos processos envolvidos. Fazem parte desta classificação as incertezas físicas (Figura 3), associadas à aleatoriedade de fenômenos naturais como, por exemplo, as propriedades mecânicas do pavimento; e as incertezas de previsão (Figura 4), quando a informação disponível corresponde a um curto intervalo de tempo. O Peso Bruto Total (PBT) diário máximo extrapolado para um período de retorno de 50 anos é um exemplo desse tipo de incerteza.

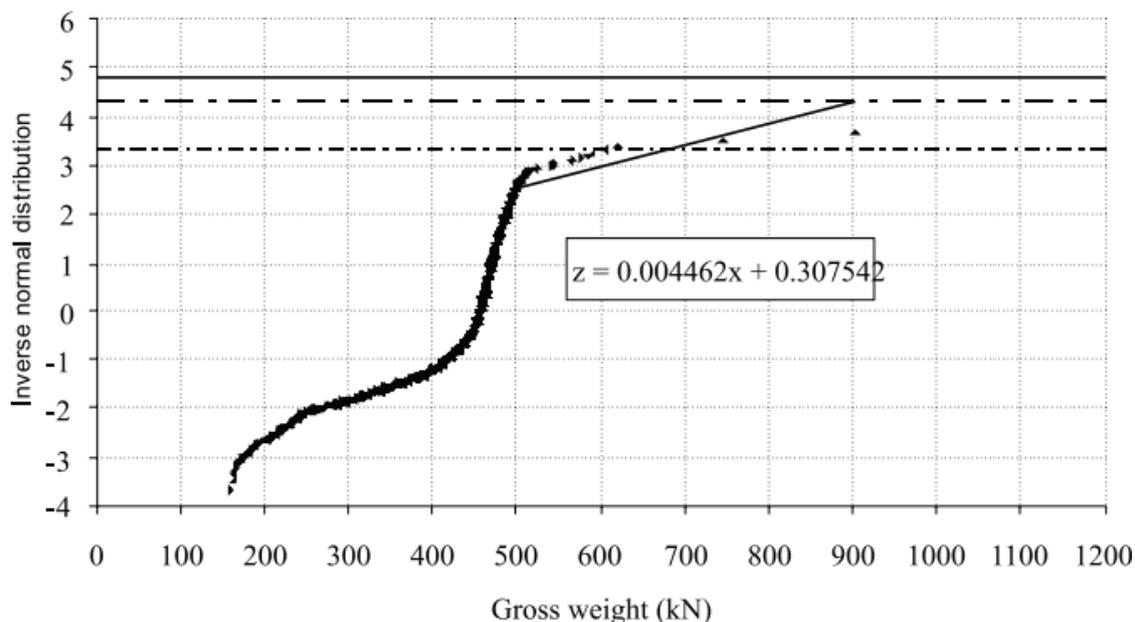
Figura 3 – Ex. de incerteza intrínseca do tipo física: módulo de cisalhamento do pavimento



Fonte: Srivastava; Srivastava; Misra (2019)

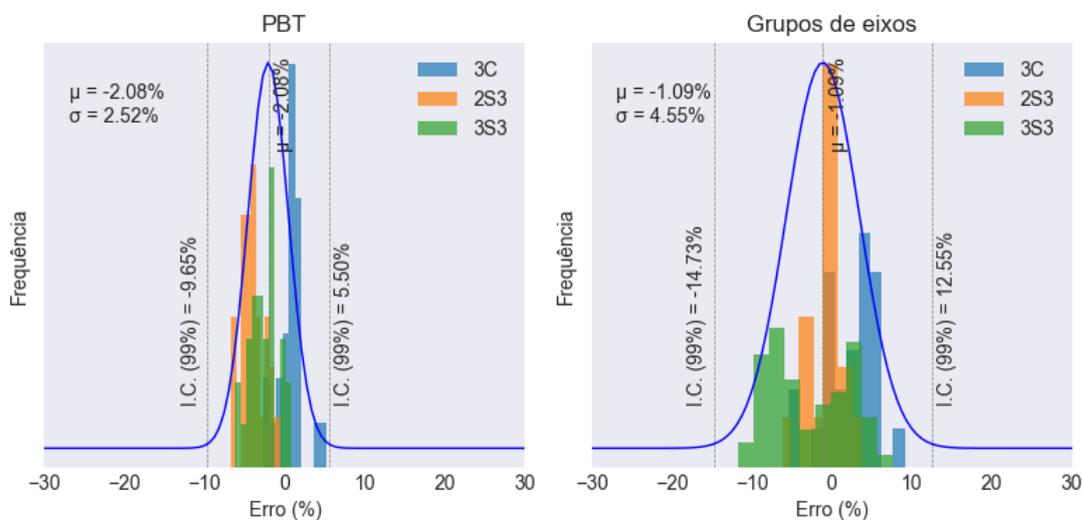
Por outro lado, as incertezas epistêmicas ocorrem quando estiverem relacionadas ao conhecimento que temos acerca do problema estudado. Fazem parte desta classificação as incertezas estatísticas e as fenomeneológicas.

Figura 4 – Ex. de incerteza intrínseca epistêmica: extrapolação do PBT diário máximo



Fonte: Ferreira; Nowak; El Debs (2008)

Figura 5 – Ex. de incerteza epistêmica estatística: intervalo de confiança para o PBT



Fonte: FAPEU (2024)

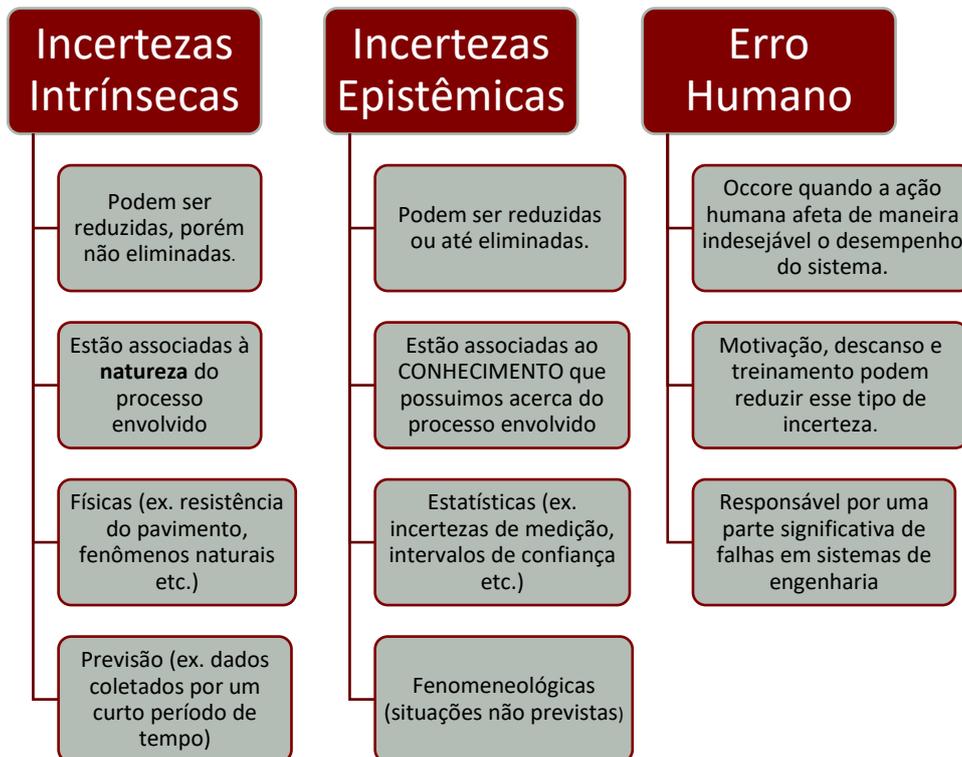
As incertezas estatísticas (Figura 5) são aquelas atreladas ao modelo probabilístico adotado, que inclui: tipos de distribuição de probabilidade, seus parâmetros, ajuste dos dados à distribuição, o nível de confiança ao se fazer uma afirmação com base no modelo, incertezas de medição e probabilidades de detecção. Já as incertezas fenomeneológicas são provenientes de situações que não foram previstas pelos projetistas ou pelos operadores de um sistema de engenharia.

Esta classificação é importante, uma vez que as incertezas intrínsecas não podem ser eliminadas dos sistemas de engenharia, podendo apenas serem reduzidas. Contrastadamente, as incertezas epistêmicas podem ser reduzidas, ou até mesmo eliminadas, na medida em que a quantidade e a qualidade das informações acerca do problema aumenta (Beck, 2017)

Além disso, o erro humano também pode desempenhar um papel importante nos processos que envolvem incertezas. Isto ocorre quando uma ação direta afeta de maneira indesejável um sistema de engenharia. Motivação, descanso e treinamento podem reduzir a ocorrência desse tipo de incerteza.

A partir dessa perspectiva o presente trabalho utiliza essas definições, resumidas na Figura 6, para estudar e analisar a viabilidade da aplicação de sistemas de pesagem na fiscalização direta.

Figura 6 – Resumo da classificação de incertezas



Fonte: FAPEU (2024)

4. Classificação de Incertezas para os Sistemas de Pesagem em Movimento

No que concerne ao presente estudo, nominalmente a análise de sistemas de pesagem com o intuito de se avaliar a viabilidade de uso na fiscalização direta, foram identificados alguns tipos de incertezas – tanto intrínsecas quanto epistêmicas – para os sistemas de pesagem em movimento.

Dentre as incertezas intrínsecas identificadas, destaca-se o fato de que a coleta realizada para o presente estudo está limitada a um pequeno intervalo de tempo – do dia 01 de outubro de 2023, às 00h01min, até o dia 15 de outubro de 2023, às 23h56min. Desta forma, há incertezas associadas às medições realizadas fora deste intervalo, o que inclui a necessidade de calibração dos sistemas para períodos maiores do que o compreendido entre o fim do período abordado e a última data de calibração dos sistemas (fevereiro de 2023). A Figura 7 apresenta registros do processo de calibração dos sistemas, realizado em fevereiro de 2023.

Figura 7 – Processo de calibração dos sistemas de pesagem em movimento (fev. de 2023)



Fonte: FAPEU (2024)

Logo, é possível reduzir e estimar a incerteza dos sistemas para períodos maiores do que o abrangido pela análise, mas não é possível eliminá-la por completo, uma vez que este aspecto faz parte das características da análise aqui realizada.

Embora esta extrapolação possa ser feita, o presente trabalho se restringe ao período de coleta de dados realizado. Além disso, outros tipos de incertezas intrínsecas – como as associadas ao comportamento físico do pavimento – não foram consideradas, pois assume-se que estão incorporadas às incertezas do processo de medição e de calibração.

No tocante às incertezas epistêmicas dos sistemas de pesagem em movimento, destacam-se as incertezas estatísticas, já que as incertezas fenomenológicas possuem um carácter de imprevisibilidade. Vale salientar que, uma vez identificada a presença de incertezas fenomenológicas, os projetistas e os operadores dos sistemas devem atuar para reduzi-las ou eliminá-las, se possível. Desta forma, as incertezas de medição, presentes tanto nos sistemas *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) quanto no sistema de pesagem em baixa velocidade do PPV, são relevantes.

Dois tipos de erros podem influenciar na quantificação da incerteza de medição: o erro sistemático e o erro aleatório. Este último faz parte do processo de medição e, embora seja difícil de ser eliminado, pode ser reduzido durante o processo de calibração. Já o erro sistemático é mais facilmente identificado, uma vez que existe um padrão na sua ocorrência e, portanto, deve ser reduzido ou eliminado.

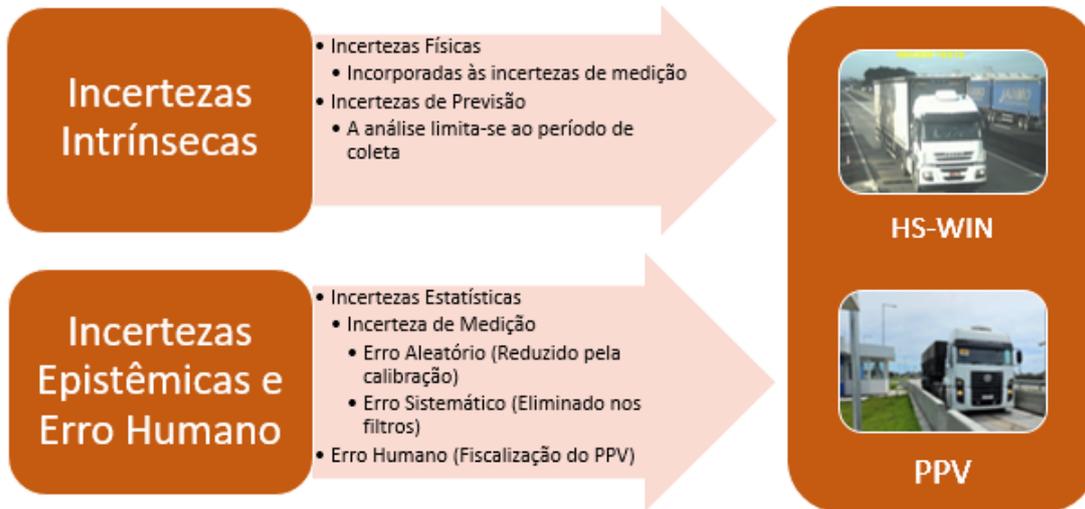
Os erros de carácter aleatórios nas medições dos Pesos Brutos Totais (PBT) e nas medições dos pesos-por-eixo, isolados ou em grupos, estão bem documentados ao longo do Produto 6 da Ação 5. Já os erros sistemáticos foram identificados e tratados por meio da aplicação de filtros de processamento, descritos em no Seção 5.1.

Ademais, também foram estabelecidas incertezas associadas ao erro humano ao longo da análise dos dados do PPV, tendo em vista que existe um posto fiscal de acompanhamento junto à balança de medição em baixa velocidade. O fiscal acompanha o processo de pesagem do veículo e, caso encontre alguma anomalia ao longo do procedimento, ordena sua repetição. Assim sendo, foram identificadas, durante o período de análise, classificações incompatíveis que não deveriam ocorrer para uma mesma placa de veículo, o que sugere algum erro durante a aquisição de dados do PPV ou um erro na fiscalização.

Com relação à viabilização dos sistemas na fiscalização direta, é importante não apenas abordar as incertezas de medição associadas aos pesos brutos totais (conforme documentado no Produto 6 da Ação 5), mas também quantificar as incertezas dos sistemas em relação a outras atividades essenciais para a fiscalização. Dentre estas atividades, destacam-se: a identificação do veículo, a classificação de acordo com os parâmetros legais estabelecidos (o que envolve uma compatibilização das diferentes classificações utilizadas pelos sistemas) e a notificação eficiente dos casos de sobrepeso.

As incertezas identificadas nos sistemas nos Sistemas de Pesagem em Movimento encontram-se resumidas na Figura 8.

Figura 8 – Resumo das incertezas identificadas nos Sistemas de Pesagem em Movimento



Fonte: FAPEU (2024)

Uma vez que os sistemas de pesagem em movimento são capazes de medir com precisão os pesos por eixos ou por grupos de eixos, ao se avaliar a confiabilidade dos sistemas com relação à tarefa de classificação, também se avalia, de certa forma, a confiabilidade dos sistemas em relação às tarefas de reconhecimento e de identificação de sobrepeso em veículos, já que estas são atividades correlacionadas (o limite de peso é definido à partir da classe do veículo e a classificação só pode ser realizadas quando a identificação é feita de maneira eficaz).

Desta forma, explorar-se-á, na seção seguinte, o desempenho dos sistemas quanto a sua capacidade de categorizar veículos, dado a relevância desta funcionalidade para a eficácia global do processo de fiscalização direta.

5. Análise do Desempenho dos Sistemas Quanto à Tarefa de Classificação

A capacidade de atribuir com precisão uma classe específica a cada veículo, considerando variáveis como peso, dimensões e carga transportada, não apenas aprimora a eficiência operacional, mas também agiliza as ações de fiscalização direta subsequentes. Assim, a presente seção tem o intuito de avaliar, estatisticamente, a efetividade dos sistemas de pesagem em movimento *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) com relação à tarefa de classificação.

O objetivo é fornecer um intervalo de confiança da proporção de veículos “*p*” cuja classificação fornecida pelo sistema HS-WIM (Brasil, s.d.) seja compatível com a classificação utilizada no posto de pesagem do PPV (Brasil, 2022), levando em consideração as diversas incertezas identificadas na seção anterior. Logo, é importante que o processamento dos dados coletados seja realizado de maneira criteriosa, reduzindo ou eliminando os dados com erros sistemáticos ou com erros humanos da análise.

5.1. Processamento dos dados: filtros aplicados

O processamento de dados envolve a transformação de dados brutos em informações úteis. Para isto, é necessário coletar, organizar, limpar e converter os dados em formatos legíveis, possibilitando a realização de subsídios úteis ao estudo de viabilidade dos sistemas de pesagem para simulação da fiscalização direta.

Tal intuito é alcançado por meio da aplicação de filtros ao conjunto de dados coletados, o que permite identificar a ocorrência de erros sistemáticos, bem como a presença de uma parcela do erro humano que eventualmente possa ocorrer durante o processo de pesagem. É importante salientar que parte dos filtros são aplicados apenas a um dos sistemas analisados (HS-WIM ou sistema de pesagem em baixa velocidade do posto de pesagem de veículos), enquanto outros filtros são aplicados a ambos os sistemas.

5.1.1. Filtros de data

Para a análise dos dados coletados, aplicou-se, inicialmente, o filtro de data para o sistema HS-WIM. O período considerado abrange desde o dia 01 de outubro de 2023, das 00h01min até as 23h56min do dia 15 de outubro de 2023. Esta escolha se baseia no

fato de que os dados disponíveis do posto de pesagem de veículos correspondem exatamente a este intervalo de tempo.

5.1.2. Filtros de Identificação

Outra característica relevante dos dados coletados é que, em alguns casos, houve erro de leitura das placas dos veículos, tanto para o sistema do posto de pesagem quanto para o sistema HS-WIM, o que configura erro sistemático e, portanto, deve ser eliminado da análise. Além disso, tendo em vista a tarefa de classificação, é necessário que o mesmo veículo seja identificado por ambos os sistemas, o que possibilita a identificação de situações em que isto não ocorre, eliminando-as assim da análise. Portanto, justifica-se a aplicação de filtros de identificação para ambos os sistemas.

5.1.3. Filtros de erros de classificação

Em algumas situações, o campo referente à classe do veículo para os dados oriundos do sistema do PPV não foi capaz de retornar, por algum motivo, uma classificação consistente, externando uma mensagem de erro para o campo. Uma vez que os dados provenientes do posto de pesagem são a referência para se avaliar o sistema HS-WIM, a informação de referência não está disponível. Logo, a existência do filtro se justifica para os dados do PPV, mas não para os dados do HS-WIM. Vale salientar que os erros sistemáticos de classificação do PPV são excluídos da análise, enquanto os erros sistemáticos do HS-WIM são mantidos, pois se ambiciona avaliar a frequência com a qual tais erros aparecem na análise.

5.1.4. Filtros de velocidade

Em relação à operação da balança de pesagem em baixa velocidade do PPV, um dos parâmetros a serem controlados é a velocidade com a qual o veículo passa pelo sistema, com uma variação recomendada entre 2 e 5 km/h. Portanto, os dados provenientes do PPV que estavam fora desses limites estabelecidos foram excluídos. Este tipo de erro pode também ser classificado como erro sistemático. O filtro não se aplica aos dados provenientes do sistema HS-WIM, que foi desenvolvido para operar em altas velocidades.

5.1.5. Filtros de frequência

Dada a aplicação dos filtros mencionados anteriormente, é possível identificar a passagem do mesmo veículo para ambos os sistemas. O próximo passo consiste em garantir que cada passagem registrada no sistema HS-WIM corresponda a um único registro no sistema do PPV. Por vezes o mesmo veículo é convidado a repetir o procedimento de pesagem na balança do PPV, seja porque a velocidade ficou fora dos limites estabelecidos, seja porque a fiscalização identificou alguma irregularidade, como a presença de eixos levantados.

Além disso, a presença de classificações incompatíveis foram identificadas para um mesmo veículo. Embora um veículo de carga possa assumir classificações diferentes, pois a carga pode assumir diferentes configurações, as classes não podem ser incompatíveis entre si. Por exemplo: segundo a classificação estabelecida no Anexo I da Portaria do Senatran nº 268 de 14/03/2022 (Brasil, 2022), é esperado que um veículo “CST10” possa ser convertido em um veículo “CTSS12+”, mas o mesmo veículo não pode assumir a classificação do tipo “C3”. Este tipo de incompatibilidade é observado nos dados coletados do posto de pesagem, o que sugere alguma irregularidade no veículo ou erro humano durante o processo de fiscalização.

Com o intuito de minimizar a presença de classificações incompatíveis, seja por irregularidade ou por erro na fiscalização, e garantir que uma única passagem no sistema HS-WIM corresponda a uma única passagem no PPV, optou-se pela aplicação de um filtro de frequência igual a “1” aos dados do PPV. Desta forma, assume-se, para os veículos cujas placas aparecem apenas uma única vez nos sistemas, que a fiscalização no PPV foi efetiva, que o veículo não estava irregular e que o veículo recebeu a classificação correta no posto de pesagem. Por fim, o Quadro 1 apresenta um resumo dos filtros de processamento aplicados ao conjunto de dados coletados.

Quadro 1 – Resumo de processamento de dados: filtros aplicados

Filtros aplicados	HS-WIM	PPV
Filtros de data	X	X
Filtros de identificação	X	X
Filtros de erros de classificação	-	X
Filtros de velocidade	-	X
Filtros de frequência	-	X

Fonte: FAPEU (2024)

5.2. Classes dos veículos mais frequentes

A análise da viabilidade dos sistemas de pesagem em movimento na fiscalização direta (com relação à tarefa de classificação e identificação de sobrepesos) não precisa, necessariamente, ser realizada para todas as classificações existentes. É suficiente que as classes mais relevantes que constituem o padrão de tráfego brasileiro estejam bem representadas na análise. Uma vez que a viabilidade seja verificada, ajustes posteriores podem ser realizados para que os sistemas disponíveis se adaptem aos padrões normativos brasileiros.

Neste contexto, a identificação das classes de veículos mais frequentes pode ser utilizada para viabilizar a análise. Pelo princípio de Pareto, é esperado que aproximadamente 80% do tráfego de veículos pertença a 20% das classes disponíveis. Identificar, portanto, quais classes respondem por aproximadamente 80% do tráfego é o objetivo desta seção.

A análise é realizada para os dados coletados do posto de pesagem após a aplicação dos filtros definidos na seção anterior. Uma vez que os dados estejam disponíveis, parte-se para a contagem de vezes em que cada classe aparece durante o período de coleta, o que define a frequência absoluta de ocorrência de cada classe. As classes são, então, organizadas em ordem decrescente de frequência absoluta.

Em seguida é realizado o cálculo da frequência relativa de cada classe, que corresponde ao resultado da divisão da frequência absoluta de cada classe pela número total de dados. A frequência relativa representa a parcela percentual que cada classe ocupa frente ao conjunto total de dados. Configura-se, de certa forma, como uma medida de “importância” da classe.

A partir do exposto, dá-se início ao cálculo da frequência relativa acumulada, que corresponde à frequência relativa da classe somada a todas as outras que estejam anteriormente dispostas em ordem decrescente de frequência. O valor da frequência relativa total acumulada da última classe deve ser sempre igual a 100%. O Quadro 2 apresenta o resultado da análise aqui descrita para a determinação das classes mais relevantes.

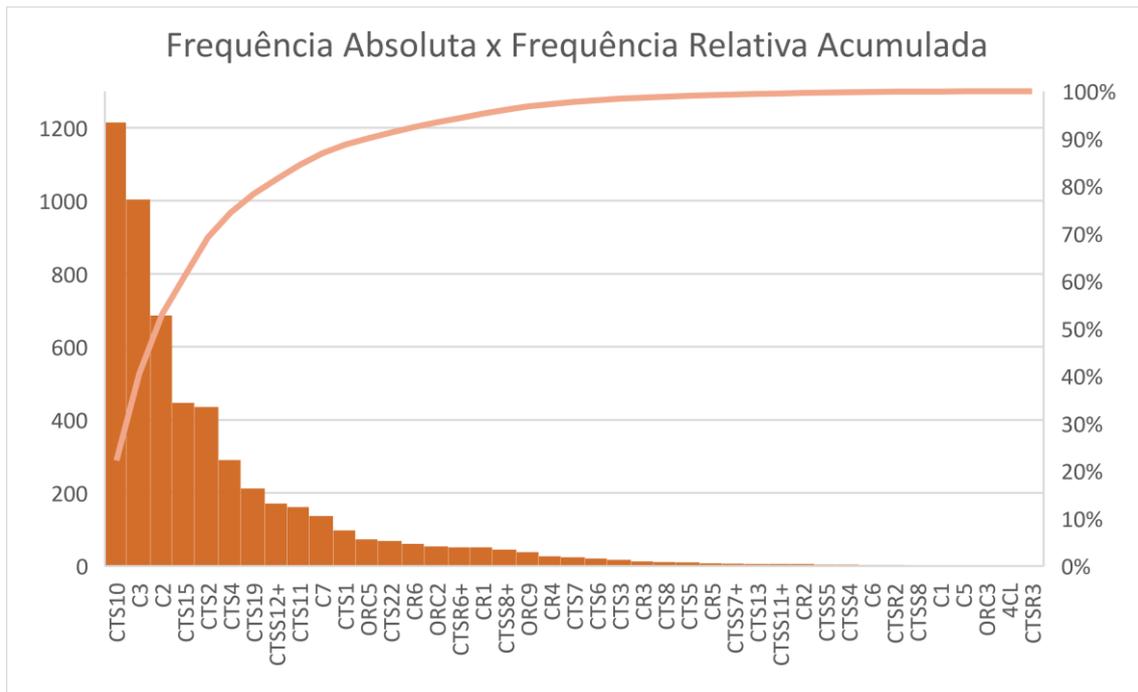
Quadro 2 – Quadro de frequências para as classes do PPV

Classificação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada	Classificação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
CTS10	1215	22,19%	22,19%	CTS6	21	0,38%	98,10%
C3	1004	18,33%	40,52%	CTS3	17	0,31%	98,41%
C2	686	12,53%	53,05%	CR3	13	0,24%	98,65%
CTS15	447	8,16%	61,21%	CTS8	11	0,20%	98,85%
CTS2	436	7,96%	69,17%	CTS5	10	0,18%	99,03%
CTS4	290	5,30%	74,47%	CR5	8	0,15%	99,18%
CTS19	212	3,87%	78,34%	CTSS7+	7	0,13%	99,31%
CTSS12+	171	3,12%	81,46%	CTS13	6	0,11%	99,42%
CTS11	162	2,96%	84,42%	CTSS11+	6	0,11%	99,53%
C7	137	2,50%	86,92%	CR2	6	0,11%	99,63%
CTS1	98	1,79%	88,71%	CTSS5	4	0,07%	99,71%
ORC5	73	1,33%	90,05%	CTSS4	4	0,07%	99,78%
CTS22	69	1,26%	91,31%	C6	3	0,05%	99,84%
CR6	61	1,11%	92,42%	CTSR2	3	0,05%	99,89%
ORC2	54	0,99%	93,41%	CTSS8	1	0,02%	99,91%
CTSR6+	51	0,93%	94,34%	C1	1	0,02%	99,93%
CR1	51	0,93%	95,27%	C5	1	0,02%	99,95%
CTSS8+	45	0,82%	96,09%	ORC3	1	0,02%	99,96%
ORC9	38	0,69%	96,79%	4CL	1	0,02%	99,98%
CR4	27	0,49%	97,28%	CTSR3	1	0,02%	100,00%
CTS7	24	0,44%	97,72%				

Fonte: FAPEU (2024)

Sendo assim, é possível definir quais classes respondem por cerca de 80% dos dados analisados, otimizando os esforços no estudo da confiabilidade do sistema HS-WIM em tarefas de classificação. Observa-se, por meio do gráfico de Pareto (Figura 9), a influência de se incluir na análise mais classes no tráfego total. A partir disto, é possível inferir que as classes “CTS10”, “C3”, “C2”, “CTS15”, “CTS2”, “CTS4”, “CTS19” e “CTSS12+” respondem por mais de 80% do tráfego analisado.

Figura 9 – Diagrama de Pareto para as classes de veículos do PPV

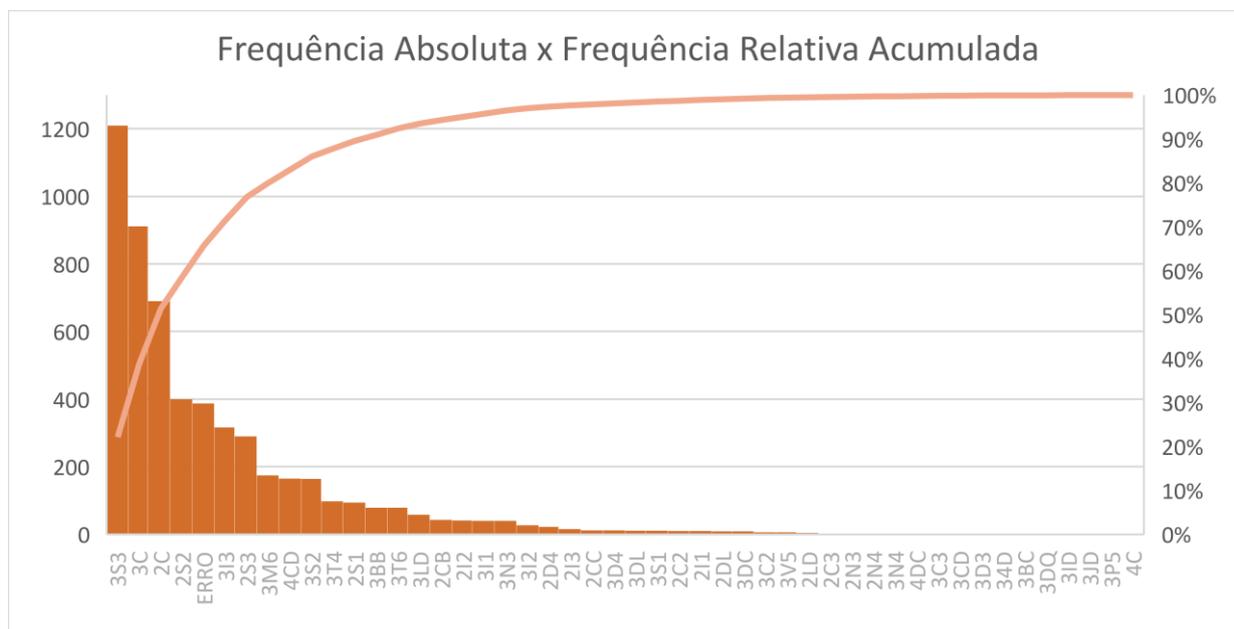


Fonte: FAPEU (2024)

A mesma análise foi também realizada para os dados provenientes do sistema HS-WIM, com a diferença de que foram incluídas, entre o rol das classes, as situações em que o sistema retornou mensagens de “erro”, ou seja, não foi possível atribuir ao veículo uma classe específica, mesmo que o veículo tenha recebido uma classificação no PPV. A inclusão desta informação é importante, uma vez que também permite estimar um intervalo de confiança para a proporção de veículos que ficaram sem classificação no sistema HS-WIM.

Assim, excluindo da análise as mensagens de “erro”, é possível inferir que as classes “3S3”, “3C”, “2C”, “2S2”, “3|3”, “2S3”, “3M6”, e “4CD” são as mais frequentemente identificadas pelo sistema HS-WIM, conforme demonstrado pelo Quadro 3 e pela Figura 10. Juntas, tais classificações respondem por mais 80% das classes identificadas pelo sistema.

Figura 10 – Diagrama de Pareto para as classes de veículos do HS-WIM.



Fonte: FAPEU (2024)

Quadro 3 – Quadro de frequências para as classes do HS-WIM

Classificação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada	Classificação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
3S3	1210	22,10%	22,10%	3DL	11	0,20%	98,30%
3C	912	16,65%	38,75%	3S1	11	0,20%	98,50%
2C	690	12,60%	51,35%	2C2	10	0,18%	98,69%
2S2	400	7,30%	58,66%	2I1	10	0,18%	98,87%
ERRO	388	7,09%	65,74%	2DL	9	0,16%	99,03%
3I3	317	5,79%	71,53%	3DC	9	0,16%	99,20%
2S3	290	5,30%	76,83%	3C2	6	0,11%	99,31%
3M6	175	3,20%	80,02%	3V5	6	0,11%	99,42%
4CD	165	3,01%	83,04%	2LD	4	0,07%	99,49%
3S2	164	2,99%	86,03%	2C3	3	0,05%	99,54%
3T4	98	1,79%	87,82%	2N3	3	0,05%	99,60%
2S1	94	1,72%	89,54%	2N4	3	0,05%	99,65%
3BB	79	1,44%	90,98%	3N4	3	0,05%	99,71%
3T6	79	1,44%	92,42%	4DC	3	0,05%	99,76%
3LD	58	1,06%	93,48%	3C3	2	0,04%	99,80%
2CB	43	0,79%	94,27%	3CD	2	0,04%	99,84%
2I2	41	0,75%	95,01%	3D3	2	0,04%	99,87%
3I1	40	0,73%	95,75%	34D	1	0,02%	99,89%
3N3	40	0,73%	96,48%	3BC	1	0,02%	99,91%
3I2	27	0,49%	96,97%	3DQ	1	0,02%	99,93%

Classificação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada	Classificação	Frequência absoluta	Frequência relativa	Frequência relativa acumulada
2D4	22	0,40%	97,37%	3ID	1	0,02%	99,95%
2I3	16	0,29%	97,66%	3JD	1	0,02%	99,96%
2CC	12	0,22%	97,88%	3P5	1	0,02%	99,98%
3D4	12	0,22%	98,10%	4C	1	0,02%	100,00%

Fonte: FAPEU (2024)

Além disso, observa-se que a classificação utilizada pelo sistema do PPV difere da utilizada pelo sistema HS-WIM. Portanto, tendo em vista o intuito de se estimar um intervalo de confiança para uma proporção “ p ” de veículos com classificação coerente, há a necessidade de compatibilização entre os diferentes tipos de classificações adotados pelos sistemas.

5.3. Compatibilização das classificações

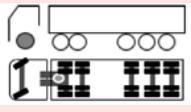
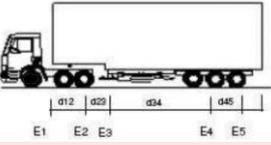
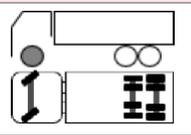
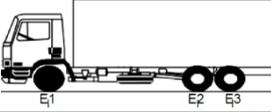
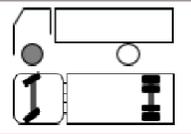
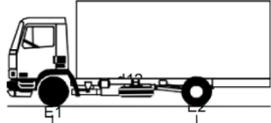
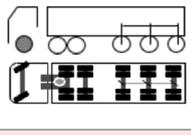
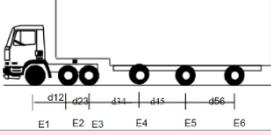
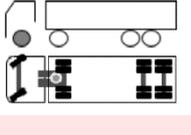
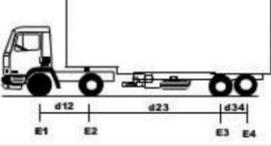
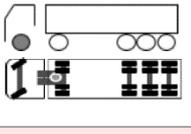
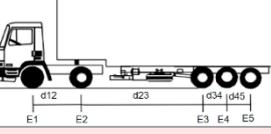
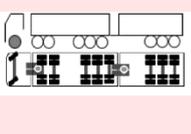
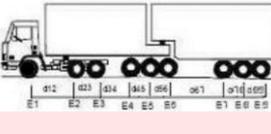
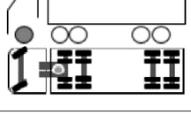
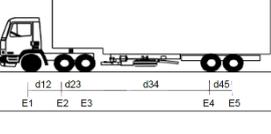
A classificação de veículos de carga é um processo que visa identificar e categorizar os diferentes tipos de veículos que transportam cargas pelas rodovias. Esta classificação é importante para fins de planejamento, fiscalização, cobrança de pedágio e de segurança viária. Existem diferentes critérios para classificar os veículos de carga, como o número de eixos, a sua distribuição, o PBT, o tipo de carroceria e a configuração do conjunto.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) editou um documento intitulado Quadro de Fabricantes de Veículos (QFV), cujo principal objetivo é “informar aos usuários os Limites de Peso para PBT (Peso Bruto Total), PBTC (Peso Bruto Total Combinado) e CMT (Capacidade Máxima de Tração) de acordo com o que foram estabelecidos pelos fabricantes para cada veículo e homologados pelo INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial” (Brasil, s.d.). O documento afirma que os veículos são classificados de acordo com a distribuição de seus eixos e apresenta siluetas para cada classe, definindo o PBT máximo, bem como um agrupamento de eixo. Esta classificação é adotada pelo sistema HS-WIM.

Já o Anexo I da Portaria do Senatran nº 268 de 14 de março de 2022 (Brasil, 2022) contém as especificações dos veículos de carga (e combinações) com seus respectivos limites de pesos e dimensões, os quais foram homologados pelo órgão máximo executivo de trânsito da União. O anexo da portaria supracitada possui nomenclatura diferenciada da que foi estabelecida no QFV (Brasil, s.d.), porém as tipologias de veículos apresentadas permitem que seja fácil identificar, no quadro de fornecedores de veículos, a classificação compatível. Portanto, é esperado uma forte correlação entre as classes mais frequentes de veículos identificados no PPV e no sistema HS-WIM. Esta classificação é adotada pelo sistema do PPV.

A compatibilização foi, então, realizada para as oito classes mais frequentes do PPV: “CTS10”, “C3”, “C2”, “CTS15”, “CTS2”, “CTS4”, “CTS19” e “CTSS12+”. O Quadro 4 apresenta um resumo que correlaciona as classes compatíveis com ambas as classificações, permitindo com que a proporção de veículos com classificação consistente “p” possa ser estimada, seja para cada classe em específico, seja para o conjunto de dados como um todo.

Quadro 4 – Compatibilização de classificações

Classes	Portaria nº 268 (14/03/22)	Quadro de Fabricantes de Veículos (QFV)	PBT PBTC (5%)	Caracterização
CTS10 / 3S3			48,5 / (50,925)	E1 = 6 ton; E2E3 = 17 ton; E4E5E6=25,5 ton; d12, d34 > 2,40 m; 1,20 m < d23; d45, d56 < 2,40 m
C3 / 3C			23 / (24,15)	E1 = 6 ton; E2E3 = 17 ton; d12 > 2,40 m; 1,20 < d23 < 2,40 m
C2 / 2C			16 / (16,8)	E1 = 6 ton; E2 = 10 ton; d12 > 3,50 m
CTS15 / 3 3			45 / (47,25)	E1 = 6 ton.; E2E3 = 17 ton.; E4 = 10 ton; E5 = 10 ton; E6 = 10 ton; d12, d34, d45, d56 > 2,40 m; 1,20 m < d23 < 2,40 m
CTS2 / 2S2			33 / (34,65)	E1 = 6 ton; E2 = 10 ton; E3E4 = 17 ton; d12, d23 > 2,40 m; 1,20 m < d34 < 2,40 m
CTS4 / 2S3			41,5 / (43,575)	E1 = 6 ton; E2 = 10 ton; E3E4E5 = 25,5 ton; d12, d23 > 2,40 m; 1,20 m < d34, d45 < 2,40 m
CTSS12+ / 3M6			74 / (77,7)	E1 = 6ton; E2E3 = 17 ton; E4E5E6 = 25,5ton; E7E8E9 = 25,5ton; d12, d34, d67 > 2,40 m; 1,20 m < d23, d45, d56, d78, d89 < 2,40 m
CTS19 / 3S2			40 / (42)	E1 = 6 ton; E2E3 = 17 ton; E4E5 = 17 ton; d12, d34 > 2,40 m; 1,20 m < d23, d45 < 2,40 m

Fonte: FAPEU (2024)

5.4. Estimativa de intervalos de confiança para uma proporção populacional

A estimativa de um intervalo de confiança para uma proporção populacional é uma faixa de valores, derivada dos dados da amostra, que tem uma probabilidade especificada de conter o valor verdadeiro da proporção na população. Em termos mais simples, ao coletar uma amostra de uma população e calcular uma proporção a partir dessa amostra, esta proporção pode ser usada para estimar a proporção na população total.

No entanto, como a amostra é apenas uma pequena parte da população, a estimativa provavelmente não será exatamente igual à proporção real da população. Portanto, em vez de fornecer uma única estimativa, é fornecido um intervalo de valores que se acredita conter a proporção real da população.

Este intervalo é chamado de “intervalo de confiança”, e a probabilidade especificada é chamada de “nível de confiança”. Assim, um intervalo de confiança de 95% tem 95% de chance de conter a proporção real da população. É importante destacar que o intervalo de confiança é baseado em probabilidades e, portanto, não há garantia de que o intervalo de confiança conterá a proporção real da população. No entanto, ao repetir o processo de amostragem muitas vezes, espera-se que o intervalo de confiança contenha a proporção real da população em 95% das vezes (ou qualquer que seja o nível de confiança).

Ainda, segundo Montgomery e Runger (2014), é frequentemente necessário construir intervalos de confiança para uma proporção populacional “ p ” do tipo binomial, por vezes definida como uma proporção de “sucesso” ou de “falha”, a exemplo da proporção de produtos com defeitos em uma linha de montagem. Dado que uma amostra de tamanho “ n ” tenha sido tirada de uma grande população (possivelmente infinita) e que “ X ” observações dessa amostra pertença a esta proporção de interesse, então “ $\hat{P} = X/n$ ” é um estimador para a proporção populacional. Sabe-se que esse estimador segue uma distribuição normal de média “ p ” e variância “ $p(1 - p)/n$ ”, caso essa proporção não seja nem próxima de “0” nem próxima de “1” e caso “ n ” seja suficientemente grande. Tipicamente, para se usar esta aproximação, é necessário que “ np ” e “ $n(1 - p)$ ” sejam maiores ou iguais a “5”. A Equação 1 demonstra a aproximação normal para uma proporção binomial.

$$Z = \frac{X - np}{\sqrt{np(1 - p)}} = \frac{\hat{P} - p}{\sqrt{\frac{p(1 - p)}{n}}} \quad (1)$$

Portanto, um intervalo com nível de confiança de aproximadamente “ $100(1 - \alpha)\%$ ”, em que “ α ” é definido como o nível de significância, pode ser calculado por meio da Equação 2, em que “ \hat{p} ” é definido como a proporção amostral que pertence à classe de interesse e “ $Z_{\alpha/2}$ ” corresponde ao “ Z ” crítico superior da distribuição normal de

percentual igual a “ $\alpha/2$ ”. Outro aspecto importante da análise é verificar se o tamanho da amostra está apropriado para a realização da análise. Na Equação 2, a expressão “ $E = Z_{\alpha/2} \cdot \sqrt{p(1-p)/n}$ ” é definida como o erro padrão de “ \hat{P} ” e, ao resolvermos esta expressão, para “ n ” define-se a Equação 3, que permite calcular o tamanho de uma amostra mínima desde que se tenha uma estimativa para “ p ” (Montgomery; Runger, 2014).

$$\hat{p} - Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \leq p \leq \hat{p} + Z_{\alpha/2} \sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{n}} \quad (2)$$

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{E} \right)^2 p(1-p) \quad (3)$$

5.5. Proporção de veículos “ p ” cuja classe do HS-WIM é compatível com a classe do PPV

No contexto da análise da viabilidade de aplicação dos sistemas HS-WIM à fiscalização direta, especificamente em relação à tarefa de classificação, a presente seção aborda a construção de **intervalos de confiança** para a **proporção de veículos cuja classificação recebida pelo sistema HS-WIM é compatível com a classificação recebida pelo sistema do PPV**. Além disso, examina-se o tamanho adequado da amostragem, com ênfase nas classes mais frequentes (observadas na Seção 5.1), avaliadas tanto individualmente quanto conjuntamente.

Para as classes analisadas, foi considerado um **nível de confiança igual a 95%** e índice de significância “ α ” igual a 5%. Desta forma, o fator “ $Z_{\alpha/2}$ ” crítico da distribuição normal padrão equivale a 1,96 para todos os casos estudados. Ademais, o Quadro 4 é tomado como referência para verificar se o veículo está com a classificação consistente para, assim, poder-se calcular o percentual “ p ”, que servirá como parâmetro para o cálculo dos limites superiores e inferiores dos intervalos bem como para a estimativa inicial do cálculo da amostragem mínima.

O Quadro 5 apresenta um resumo dos parâmetros calculados conforme a Seção 5.4 para as principais classes analisadas (“CTS10”, “3C”, “2C”, “CTS15”, “CTS2”, “CTS4”, “CTSS12+” e “CTS19”), individualmente ou em conjunto, bem como a proporção de veículos que receberam uma mensagem de “erro” do sistema HS-WIM. Desta forma, é possível observar que, para a classe “CTSS12+”, a estimativa de intervalo de confiança não pode ser realizada, uma vez que a proporção de veículos com classificação consistente é muito próxima de “1” (99,42%). Logo, é mais indicado assumir que a

proporção de veículos de classificação consistente equivale à estimativa inicial de 99,46%.

Outro aspecto relevante diz respeito à classe “CTS19”, cujo tamanho da amostra “ $n=212$ ”, após a aplicação dos filtros, não atingiu o valor mínimo recomendado para a estimativa de um intervalo de confiança “ $n_{min} = 329$ ”. Como resultado, embora a amostra para a classe “CTS19” não seja suficiente para se construir os intervalos de confiança desta classe em específico, a mesma amostra pode se considerada na construção de intervalos de confiança para as classes em conjunto. Ademais, observa-se que quanto mais próxima de “1” for a estimativa inicial da proporção de veículos com classificação consistente, menor será o tamanho da amostra necessária para a construção dos intervalos de confiança.

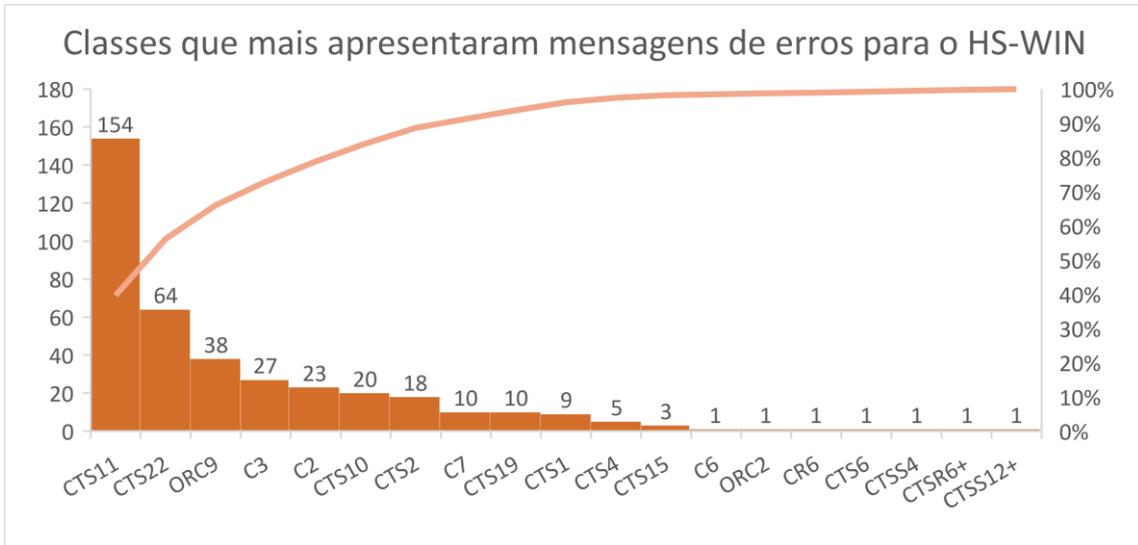
Por fim, a proporção de veículos que recebeu nenhuma classificação varia entre 6,41% e 7,77%. A Figura 11 apresenta as frequências, relativas e absolutas, das classes com este tipo de erro.

Quadro 5 – Resumo dos intervalos de confiança (95%).

Parâmetros	CTS10 / 3S3	3C / C3	2C / C2	CTS15 / 3 3	CTS2 / 2S2
p	96,54%	89,74%	92,13%	70,02%	82,80%
$p' = (1 - p)$	3,46%	10,26%	7,87%	29,98%	17,20%
Z_{crit}	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
n	1215	1004	686	447	436
Limite Superior (IC 95%)	97,57%	91,62%	94,14%	74,27%	86,34%
Limite Inferior (IC 95%)	95,52%	87,86%	90,11%	65,78%	79,26%
$np \geq 5$	1173	901	632	313	361
$n(1 - p) \geq 5$	42	103	54	134	75
n_{min}	51	141	111	323	219
Parâmetros	CTS4 / 2S3	CTSS12+ / 3M6	CTS19 / 3S2	% Msg Erro	Geral
p	96,90%	99,42%	68,87%	7,09%	91,34%
$p' = (1 - p)$	3,10%	-	31,13%	92,91%	8,66%
Z_{crit}	1,96	-	1,96	1,96	1,96
n	290	-	212	5476	4354
Limite Superior (IC 95%)	98,89%	-	75,10%	7,77%	92,18%
Limite Inferior (IC 95%)	94,90%	-	62,63%	6,41%	90,51%
$np \geq 5$	281	-	146	388	3977
$n(1 - p) \geq 5$	9	-	66	5088	377
n_{min}	46	-	329	101	122

Fonte: FAPEU (2024)

Figura 11 – Classes do HS-WIM que apresentam mais mensagens de erro



Fonte: FAPEU (2024)

6. Análise do Desempenho dos Sistemas Quanto ao Excesso de Carga

Considerando o documento intitulado “Minuta de Normativo com Diretrizes Técnicas e Parâmetros de Desempenho para a Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM”, no qual são apresentados, na Seção IV do Capítulo VI – Gerenciamento de Informação da Operação e Fiscalização, os requisitos mínimos para o registro de infração por excesso de peso.

O art. 37 do documento supracitado trata das informações necessárias para o registro da infração pelo excesso de peso, em que este registro representa a coleta de dados realizada pela passagem do veículo sobre o sistema de pesagem *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM), detectado com excesso de peso. As informações necessárias descritas são:

- I – Data e hora da passagem do veículo sobre o sistema de pesagem.
- II – Informações da placa.
- III – Local da passagem.
- IV – Classe do veículo.
- V – Peso bruto total (PBT).
- VI – Peso por eixo ou grupo de eixos.
- VII – Tipificação da infração.
- VIII – Indicação de excesso de altura.
- IX – Imagens do veículo e da placa;
- X – Identificação do instrumento de pesagem e de sua regularidade metrológica.

Esta etapa visa avaliar o desempenho do sistema instalado, no que diz respeito a sua capacidade de determinar uma irregularidade relacionada à infração de excesso de peso (tanto do PBT quanto do peso por eixo ou grupo de eixos). Para que o sistema identifique sobrepeso em um determinado veículo, é necessário que a classificação analisada na Seção 5.4 esteja de acordo com o esperado, para que seja possível a identificação dos limites de peso de todos os veículos passantes, considerando a divisão de classes prevista na Portaria nº 63/2009 (Brasil, 2009) do Departamento Nacional de Trânsito

(DENATRAN), e/ou outro regramento vigente aprovado pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

O primeiro passo neste processo de avaliação consiste na definição das classes a serem analisadas. Considerando o princípio de Pareto, foram escolhidas dez das classes de veículos mais frequentes do trecho, que representam 80% dos dados. O Quadro 6 apresenta as classes selecionadas e seus respectivos limites com relação ao Peso Bruto Total (PBT).

Quadro 6 – Classes e seus limites de PBT

Classe	Limites PBT (kg)
2C	16000
3C	23000
4CD	29000
2S2	33000
3S2	40000
2S3	41500
3S3	48500
3D3	48500
3I3	53000
3M6	74000

Fonte: FAPEU (2024)

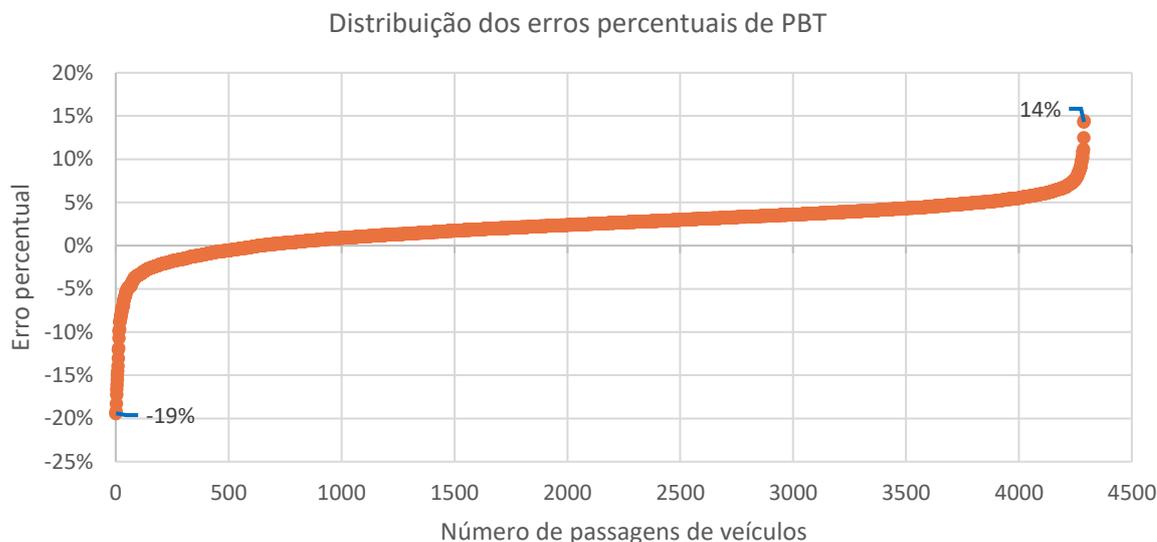
Para a realização desta análise, foi utilizada uma amostra de dados contendo 4.289 registros, nos quais, a partir da comparação do PBT, com os pesos de referência obtidos no PPV, erros são observados na amostra, calcula-se os erros percentuais para cada registro de pesagem “ $E_{\%}$ ” por meio da Equação 4.

$$E_{\%} = \frac{V_a - V_r}{V_r} \times 100 \quad (4)$$

Em que “ V_a ” é o valor do PBT e “ V_r ” é o valor de referência.

Com isso, os erros percentuais de cada classe avaliada puderam ser calculados e as suas distribuições analisadas. Os erros percentuais foram organizados de forma crescente e estão apresentados na Figura 12, com o eixo x representando o número de passageiros. Por meio do gráfico de erros, torna-se evidente a diferença entre o valor registrado pelo sistema HS-WIM e o valor de referência, assim como examinar a distribuição, em que a maioria dos valores se concentram em torno da média, bem como o valor máximo e mínimo de erros.

Figura 12 – Gráfico de erros



Fonte: FAPEU (2024)

Para avaliar a eficiência do desempenho do sistema HS-WIM na detecção de excesso de peso, a amostra foi separada em quatro conjuntos. O primeiro conjunto consiste nos veículos cujos pesos foram identificados como estando abaixo do limite em ambas as pesagens (a pesagem de referência do Posto de Pesagem Veicular e a pesagem do sistema HS-WIM). O segundo conjunto da amostra compreende os veículos cujas pesagens excederam o limite estabelecido em ambos os sistemas. O terceiro conjunto representa os veículos em que foi detectado sobrepeso apenas pelo sistema HS-WIM. O quarto conjunto, por sua vez, é constituído por veículos em que apenas o PPV acusou como acima do peso. O Quadro 7 apresenta a porcentagem que cada conjunto representa em relação ao número total da amostra, bem como a média de erro absoluto das pesagens do PBT de cada conjunto, seu desvio padrão, erros máximos e mínimos.

Quadro 7 – Porcentagem de cada conjunto de amostras e a média dos erros absoluto

Conjuntos de amostras	Proporção (%)	Média de erros (%)	Desvio Padrão (%)	Máximo (%)	Mínimo (%)
Ambos abaixo do limite	71,9	2,8	2,6	14,4	- 19,4
Ambos acima do limite	15,3	3,0	2,4	- 0,6	- 12,0
HS-WIM acima limite	12,0	3,7	1,5	10,4	0,3
PPV acima do limite	0,8	2,9	1,8	7,6	- 3,0

Fonte: FAPEU (2024)

7. Análise das Imagens para Registro de Identificação

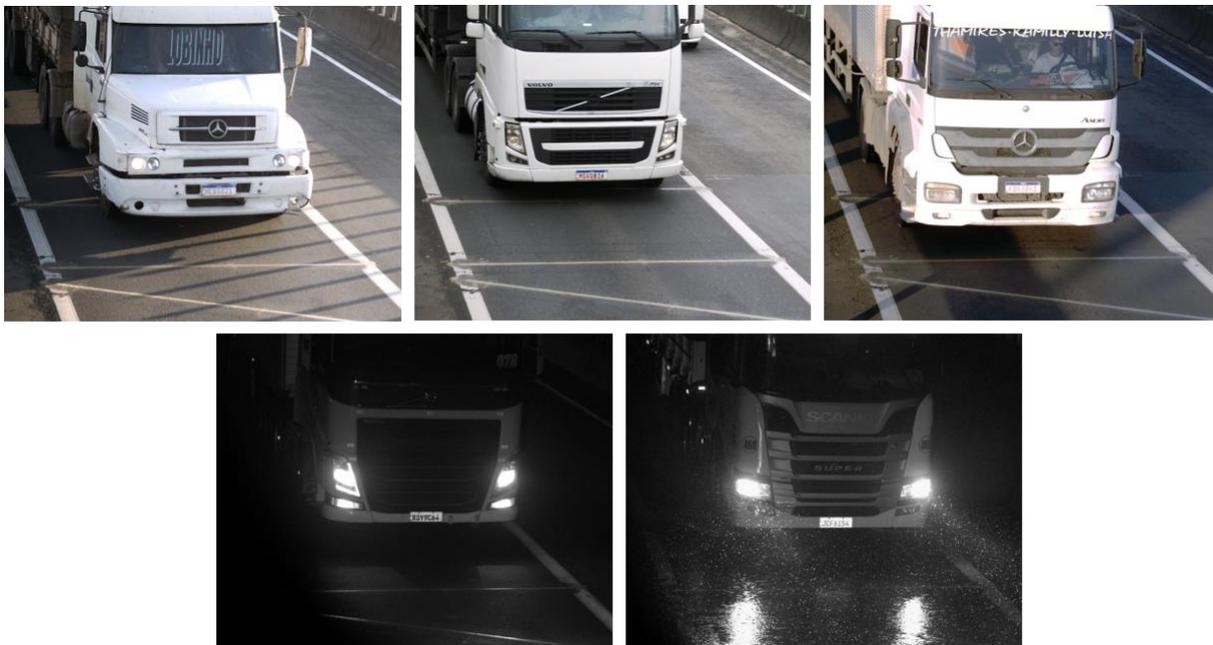
Com o objetivo de assegurar a qualidade e a padronização dos protocolos de operação da fiscalização direta com sistemas *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM), de forma a garantir que nenhum veículo seja multado injustamente e que se tenham níveis de controle do excesso de peso mais elevados, é crucial ter um sistema de captura de imagens para a fiscalização de excesso de peso e controle de fuga à fiscalização. Neste sentido, o Produto 3, gerado em agosto de 2022, denominado “Minuta de Normativo com Diretrizes Técnicas e Parâmetros de Desempenho para a Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM”, levanta pontos a serem analisados no sistema de captura.

Para realizar esta análise, é importante que as imagens registradas mantenham sua qualidade, independente do horário e das condições climáticas. Por isso, foram consideradas cinco situações distintas do cotidiano. Na primeira situação, durante o nascer do sol, as câmeras estão voltadas para o leste, o que faz com que a luz solar incida diretamente na lente da câmera, podendo gerar reflexos que atrapalhariam a identificação do veículo. No segundo cenário, ao longo do dia, é considerado um ambiente ideal, com pouca interferência luminosa. Na terceira situação, durante o pôr do sol, é o momento em que as câmeras estão posicionadas contra a luz solar, o que pode resultar na perda de detalhes devido ao contraste extremo entre a fonte de luz intensa e os veículos. Além disso, podem ocorrer reflexos na carroceria metálica dos veículos. Quanto ao quarto cenário, no decorrer da noite, período com condição de pouca luminosidade, as câmeras podem ter dificuldades em focar adequadamente, resultando em imagens desfocadas ou borradas. Ademais, pode ocorrer o reflexo das luzes dos veículos passantes. Por fim, o quinto cenário ocorre durante uma noite chuvosa, em conjunto com os desafios oriundos do período noturno. A umidade do ar durante a chuva pode fazer com que a lente da câmera fique embaçada, enquanto a água na superfície pode causar reflexos indesejados e gotas de chuva podem aparecer na frente da lente da câmera, criando manchas.

Com base na coleta de dados de imagens realizadas na área de fiscalização, as potenciais infrações são registradas de forma automática. Estes dados devem conter registros de imagens dos veículos, em diferentes ângulos, para a identificação dos mesmos. Primeiramente, imagens frontais de todos os veículos passante, que permitam a leitura automática de placas. A Figura 13 apresenta imagens frontais da frota, considerando os

cinco cenários distintos, e a Figura 14 indica a placa de cada veículo extraída de cada captura.

Figura 13 – Imagens frontais da frota considerando os diferentes cenários



Fonte: FAPEU (2024)

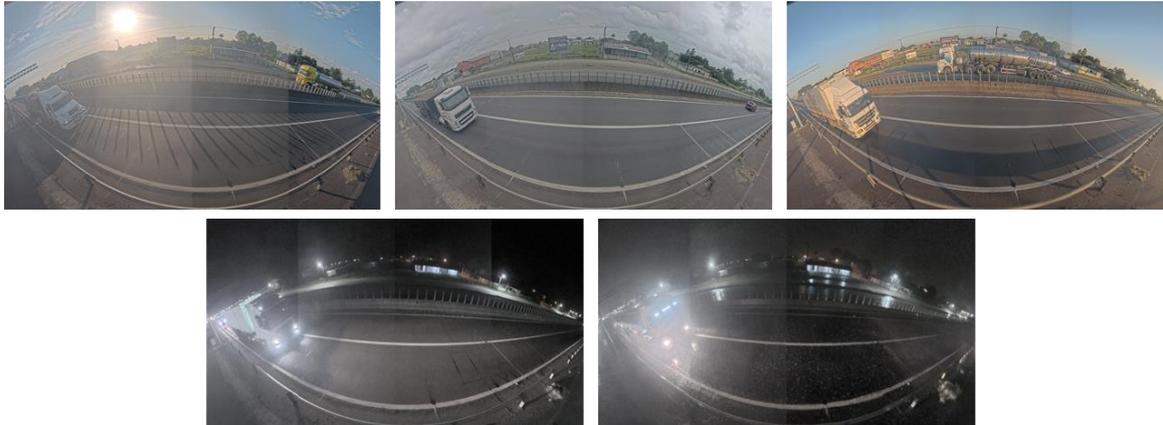
Figura 14 – Imagens das placas frontais



Fonte: FAPEU (2024)

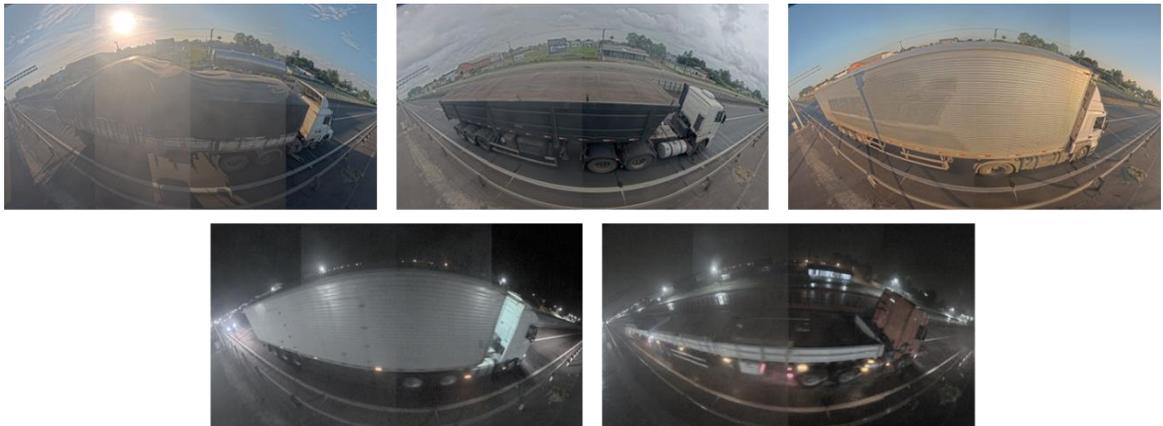
Faz-se necessário, também, registrar a imagem lateral de todos os veículos em infração por excesso de peso, de forma a permitir a caracterização do veículo e a sua configuração de eixos por meio de dispositivos de captura de imagem panorâmica. Este registro de imagem panorâmica contém três diferentes ângulos, sendo eles: frontal, lateral e traseiro. A imagem de ângulo traseiro serve para comprovação da exibição da mensagem no painel de mensagem variável, nos casos em que houver área de regularização de carga próxima ao ponto de fiscalização direta de peso com HS-WIM. As imagens panorâmicas frontais, laterais e traseiras são apresentadas, respectivamente, na Figura 15, na Figura 16 e na Figura 17.

Figura 15 – Imagens panorâmicas frontais considerando os diferentes cenários



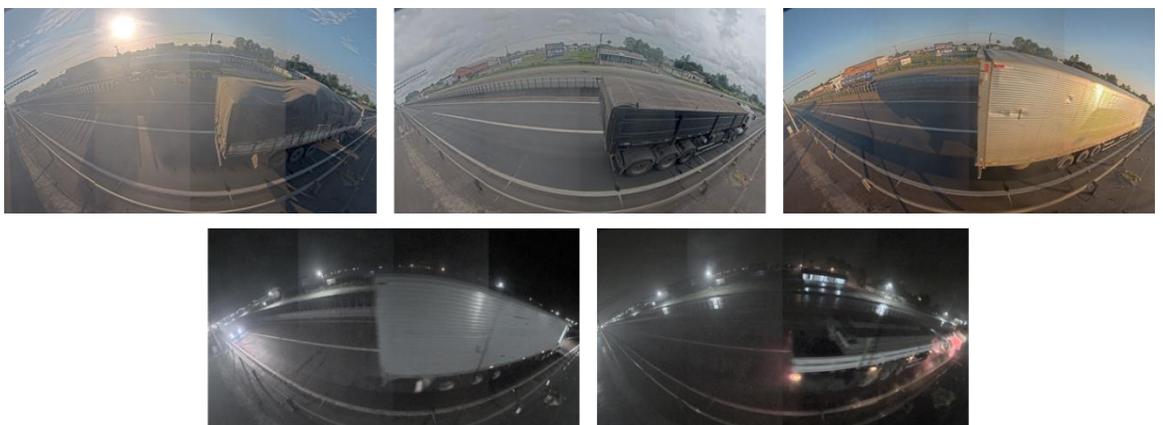
Fonte: FAPEU (2024)

Figura 16 – Imagens panorâmicas laterais considerando os diferentes cenários



Fonte: FAPEU (2024)

Figura 17 – Imagens panorâmicas traseiras considerando os diferentes cenários

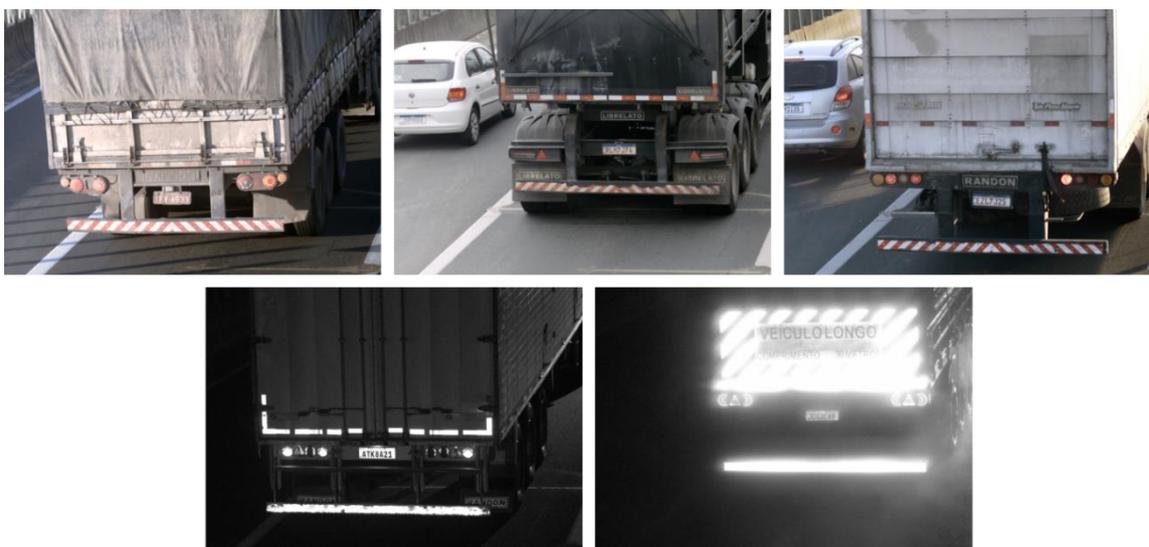


Fonte: FAPEU (2024)

Além disso, imagens panorâmicas também servem para mostrar a seção transversal da via e identificar quando houverem veículos trafegando pelo acostamento, entre faixas de tráfego, na contramão ou em outra situação em que haja o intuito de burlar o processo de fiscalização.

Ademais, o sistema analisado conta com câmeras de captura traseira, que permitem a leitura automática de placas traseiras. A Figura 18 apresenta as imagens registradas e a Figura 19 apresenta as placas extraídas de cada imagem.

Figura 18 – Imagens traseiras da frota considerando os diferentes cenários



Fonte: FAPEU (2024)

Figura 19 – Imagens das placas traseiras



Fonte: FAPEU (2024)

8. Conclusões

O presente documento faz parte da Ação 3 – Estudos para normatização dos processos de registro automático de infrações e de aplicação de medidas administrativas no uso de sistemas HS-WIM para fiscalização direta. Tem como objetivo avaliar a viabilidade dos sistemas na execução de tarefas essenciais à fiscalização direta, a saber: classificação de veículos, identificação de excesso de carga e análise de imagens para registro e identificação.

No que diz respeito à tarefa de classificação, a abordagem deste trabalho foi fundamentada em uma análise estatística. Tal enfoque resultou em um estudo específico, com o objetivo de identificar e de classificar as incertezas, conforme ilustrado nas Seções 3 e 0. Esta fase é importante, pois oferece a oportunidade de mitigar as incertezas decorrentes de eventuais erros sistemáticos durante as etapas de aquisição ou de processamento de dados. O estudo também proporciona *insights* sobre o impacto do procedimento de calibração nas incertezas de medições, examina a influência das incertezas físicas nesse processo e explora a relação entre a estimativa do intervalo de confiança (Seção 5.4) e possíveis tomadas de decisão.

Ademais, é importante ressaltar que a presença de classificações inconsistentes para um mesmo veículo no conjunto de dados do “PPV”, as quais adicionam incerteza a nossa análise. Desta forma, é necessário o uso de filtros de dados (Seção 5.1) na tentativa de mitigar a presença de erros sistemáticos e/ou humanos da análise, em especial os filtros de frequência. Assim, assume-se que os veículos que passaram apenas uma vez no PPV estão com a classificação coerente e que a fiscalização do local não falhou em identificar alguma inconsistência durante o procedimento de pesagem.

A viabilidade do sistema *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM), com relação à tarefa de classificação, foi então avaliada a partir da estimativa de um intervalo de confiança para a proporção de veículos “*p*” com classificação consistente (Seção 5.5). Para a realização desta tarefa, foi necessário compatibilizar as classificações utilizadas pelos diferentes sistemas (Seção 5.3) a saber: Anexo I da Portaria do Senatran nº 268 de 14 de março de 2022 (Brasil, 2022), para os dados do PPV; e Quadro de Fabricantes de veículos (Brasil, s.d.), para os dados do HS-WIM. A compatibilização ainda é feita para os veículos mais frequentes identificados segundo o princípio de Pareto (Seção 0).

Portanto, com base na análise apresentada na Seção 5.5, é plausível inferir, com um nível de confiança de 95 %, que, de maneira geral, o sistema HS-WIM demonstra consistência em suas classificações, abrangendo um intervalo que varia de 90,51 % a 92,18 % dos casos.

No que concerne ao percentual de mensagens de erro fornecido pelo sistema HS-WIN, pode-se afirmar com 95 % de certeza que o intervalo, o qual varia entre 6,41 % e 7,77 %, conterà a proporção da população para este parâmetro. No entanto, é importante salientar que esta proporção inclui as mensagens de erros provenientes da existência de classes que não possuem classificações compatíveis entre si, considerando os sistemas de classificação tanto do PPV como do HS-WIN. É o caso, por exemplo, da classe “CTS11” identificada no PPV, mas não classificada no sistema HS-WIN, por não haver classe compatível dentre todas disponíveis no QFV. Esta situação sugere que o percentual de mensagens de erros de classificação para o sistema HS-WIN, considerando as classes mais frequentes, é ainda menor do que o intervalo de confiança sugere.

Assim, é possível deduzir que a utilização de sistemas de pesagem em movimento, como o HS-WIM, revela-se viável e consistente na execução da tarefa de classificação de veículos. A abordagem estatística adotada, que incluiu a identificação e classificação das incertezas, proporcionou uma compreensão aprofundada dos desafios inerentes ao processo. A compatibilização das classificações entre diferentes sistemas, aliada ao uso de filtros de dados para mitigar inconsistências, demonstrou a capacidade do HS-WIM em alcançar resultados confiáveis. A análise do intervalo de confiança, com uma estimativa que varia de 90,51 % a 92,18 % para a consistência das classificações, reforça a robustez e a eficácia do sistema na realização desta tarefa específica. Tais resultados respaldam a conclusão de que a implementação de sistemas de pesagem em movimento apresenta uma solução viável e confiável para a classificação de veículos, fornecendo uma base sólida para a aprimoração dos processos de fiscalização direta.

No contexto da análise do excesso de carga, observa-se que o sistema comercial demonstra um desempenho satisfatório na aferição dos pesos dos veículos em alta velocidade. Os erros percentuais apresentados, em relação ao peso bruto total, ficam em torno de 3 %, sendo que o máximo é de 14,4 % e mínimo é de -19,4 %. Este erro percentual é útil para avaliar a precisão das medições.

Quando analisado em diferentes situações, o desvio padrão permite identificar a dispersão dos dados em torno da média, notando-se que, quando o HS-WIM identifica o veículo como acima do peso e o PPV como abaixo do peso, há uma menor dispersão dos dados em relação ao erro percentual, sendo este um desvio padrão de 1,5%. Nesta situação, pode-se levar em conta que os proprietários dos veículos frequentemente desejam operar no limite permitido de peso para economizar no frete, possibilitando o transporte de mais carga. Sendo assim, o erro de 3,7 % pode ser um erro considerado

baixo, mas é suficiente para um veículo que não está com excesso de peso ser considerado acima do peso, além de dever ser considerado, também, o erro da balança de referência.

A análise das imagens para registro de identificação serve para avaliar a qualidade, precisão e clareza das imagens utilizadas como identificação de cada veículo. Vários critérios podem ser observados, como a resolução, a nitidez, a cor, a distorção e a iluminação. Os resultados da análise indicaram que a maioria das imagens apresentam uma resolução adequada, permitindo a visualização de detalhes importantes.

Nas próximas etapas do projeto, procederemos para a coleta de dados com os veículos da frota, com o objetivo de compará-los à balança de referência existente no Posto de Pesagem Veicular de Araranguá/SC. Esse posto de pesagem está localizado próximo e adjacente dos sistemas HS-WIM. A avaliação dos dados obtidos com os veículos da frota seguirá um processo semelhante ao realizado no produto atual e será dividida em duas partes: Produto 7 (I e II).

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E1318-09: **Standard Specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) Systems with User Requirements and Test Methods**. ASTM International, 2017.

BECK, A.T. **Confiabilidade e Segurança das Estruturas**. São Paulo: Elsevier, 2019. ISBN 978-85-352-8895-7.

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN. **Portaria nº 63 de 31 de março de 2009**. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito, 2009.

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN. **Portaria nº 870 de 26 de outubro de 2010**. Departamento Nacional de Trânsito: Brasília, 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/portarias/2010/portaria8702010.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN. **Resolução nº 459 de 29 de outubro de 2013**. Conselho Nacional de Trânsito: Brasília, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao4592013.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. Secretaria Nacional de Trânsito – SENATRAN. **Portaria nº 268 de 14 de março de 2022**. Brasília: Secretaria Nacional de Trânsito, 2022.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Quadro de Fabricantes de Veículos**. Brasília: Coordenação Geral de Operações Rodoviárias, s.d.

COST. **COST 323: Weigh-in-Motion of Road Vehicles: Final Report**. Versão 3.0. European WIM Specification. Bruxelas, 1999. Disponível em: https://www.is-wim.org/doc/ijhd_hvs_jacob.pdf. Acesso em: 16 fev. 2024.

COST 323. Cooperation in Science and Technology. **Weigh in motion of road vehicles**. Final Report, Appendix 1 European WIM Specification, LCP publication, Paris. 2002.

FERREIRA, L. M.; NOWAK, A. S.; EL DEBS, M. K. Desenvolvimento de equações para a limitação do peso de veículos de carga em pontes de concreto através da teoria de confiabilidade. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, v. 1, n. 4, p. 421–450, dez. 2008.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied statistics and probability for engineers**. 6. ed ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2014.

SRIVASTAVA, A.; SRIVASTAVA, D. K.; MISRA, A. K. Spatial variability modeling and reliability analysis of flexible pavement through mechanistic–empirical model. **Journal of Engineering, Design and Technology**, v. 17, n. 6, p. 1129–1145, 4 dez. 2019.

OIML. **OIML R 134-1**: Automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads - Part 1: Metrological and technical requirements – Tests. [S.l.]: Organisation Internationale de Métrologie Légale, 2006, 81 p. Disponível em: https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r134-1-e06.pdf. Acesso em: 26 jul. 2023.



CCR *ViaCosteira*

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