



---

## **Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos da Frota (I)**



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**

## **Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos da Frota (I)**

Abril 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 Silvío Burigo, nº 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>

Valter Zanela Tani  
Coordenador Técnico  
Fábio Silva de Souza  
Superintendente

## Lista de Abreviaturas e Siglas

|          |  |
|----------|--|
| ANTT     | Agência Nacional de Transportes Terrestres               |
| CCR      | Concessionária Catarinense de Rodovias S.A.              |
| COST     | <i>European Cooperation in Science and Technology</i>    |
| DNIT     | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes   |
| EI       | Estação Integrada  |
| FAPEU    | Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária   |
| HS-WIM   | <i>High-Speed Weight-in-Motion</i>                       |
| INMETRO  | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia |
| LabTrans | Laboratório de Transportes e Logística                   |
| LAP      | Leitura Automática de Placas Veiculares                  |
| OIML     | <i>Organisation Internationale de Métrologie Légale</i>  |
| PBT      | Peso Bruto Total   |
| PCBE     | Pavimento de Concreto Betuminoso Espesso                 |
| PCCA     | Pavimento de Concreto Continuamente Armado               |
| PPV      | Posto de Pesagem Veicular                                |
| RDT      | Recurso de Desenvolvimento Tecnológico                   |
| UFSC     | Universidade Federal de Santa Catarina                   |



## Lista de Figuras

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Figura 1  | Vista aérea do sítio de pesquisa de tecnologias HS-WIM em Araranguá/SC.....                    | 13 |
| Figura 2  | Sítio de Pesquisa de HS-WIM de Araranguá/SC e seus componentes.....                            | 14 |
| Figura 3  | Estrutura do PCBE dimensionado de acordo com a metodologia francesa .....                      | 15 |
| Figura 4  | Sistema HS-WIM in loco .....   | 16 |
| Figura 5  | Estrutura do sistema HS-WIM .....  | 16 |
| Figura 6  | Exemplo do registro de dados coletados pelos sistemas comerciais .....                         | 17 |
| Figura 7  | Localizações do PPV .....  | 19 |
| Figura 8  | Balança do PPV, em Araranguá/SC .....  | 20 |
| Figura 9  | Classes selecionadas para a análise de dados do sistema HS-WIM.....                            | 25 |
| Figura 10 | Critérios de Chauvenet.....  | 26 |
| Figura 11 | Distribuição dos erros percentuais observados no sistema HS-WIM.....                           | 27 |
| Figura 12 | Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema HS-WIM .....         | 28 |
| Figura 13 | Limites estabelecidos na recomendação R 134-1 para o PBT.....                                  | 29 |
| Figura 14 | Limites estabelecidos na recomendação R 134-1 para eixos e grupos de eixos.....                | 30 |
| Figura 15 | Limites do regulamento estabelecido pela Portaria nº 19/2022 para o PBT .....                  | 30 |
| Figura 16 | Limites do regulamento estabelecido pela Portaria nº 19/2022 para eixos e grupos de eixos..... | 31 |
| Figura 17 | Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema HS-WIM .....            | 32 |
| Figura 18 | Dispersão de erros em função da velocidade para o sistema HS-WIM .....                         | 34 |
| Figura 19 | Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema HS-WIM....                    | 34 |
| Figura 20 | Número de registros do HS-WIM em cada classe do INMETRO .....                                  | 37 |



## Lista de Quadros

|          |  |    |
|----------|--|----|
| Quadro 1 | Dados coletados dos veículos da frota pelo Sistema HS-WIM.....     | 18 |
| Quadro 2 | Dados coletados dos veículos da frota pelo PPV .....               | 20 |
| Quadro 3 | Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema HS-WIM ..... | 33 |
| Quadro 4 | Resumo dos resultados obtidos no sistema HS-WIM .....              | 35 |
| Quadro 5 | Classes de desempenho atingidas pelo sistema HS-WIM.....           | 36 |



## Sumário

|   |    |
|---|----|
| 1. Introdução .....   | 11 |
| 2. Sítio de Pesquisas de Pesagem em Movimento .....                         | 13 |
| 2.1. Apresentação da infraestrutura existente .....                         | 14 |
| 2.1.1. Pista Experimental: PCBE .....                                       | 15 |
| 2.2. Apresentação do sistema HS-WIM .....                                   | 15 |
| 3. Registro dos Dados .....   | 17 |
| 4. Análise de Desempenho dos Sistemas .....                                 | 23 |
| 4.1. Processamento dos dados .....  | 24 |
| 4.2. Erros observados nas amostras .....                                    | 25 |
| 4.3. Verificação de desempenho em função dos documentos de referência ..... | 29 |
| 4.3.1. Verificação estatística com a metodologia COST 323 .....             | 33 |
| 4.4. Análise exploratória .....   | 33 |
| 5. Análise dos Resultados dos Sistemas .....                                | 35 |
| 5.1. Discussão dos resultados .....   | 36 |
| 6. Considerações Finais .....   | 39 |
| REFERÊNCIAS .....   | 41 |



## 1. Introdução

Os sistemas de pesagem em movimento em alta velocidade, conhecidos como *High-Speed Weight-in-Motion* (HS-WIM), passaram, nos últimos anos, por um considerável processo de modernização e de avanços tecnológicos para a automatização de fiscalização do excesso de carga em rodovias. Esse avanço tem sido impulsionado por desenvolvimentos técnicos, metrológicos e legais que favorecem a utilização dos sistemas HS-WIM para fiscalização direta. No Brasil, os fornecedores e fabricantes estão trabalhando para a homologação dos equipamentos junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). No entanto, apesar da evolução significativa, ainda existem obstáculos a serem enfrentados para a consolidação da fiscalização do excesso de peso com base somente no modelo HS-WIM. O principal desafio consiste na operação do processo de fiscalização, de como proceder após a identificação do sobrepeso, de como orientar os condutores sobre o excesso de carga, de quais procedimentos administrativos adotar (transbordo e remanejamento) e de que forma garantir a solução do problema.

Todavia, as tecnologias HS-WIM já estão prontas para a realização de coleta de informações necessárias para embasar autuações por excesso de carga. O presente documento aborda os procedimentos de teste dos sistemas HS-WIM e como o desempenho desses sistemas é avaliado. Os testes de desempenho em sistemas de pesagem desempenham um papel fundamental para garantir a precisão, calibração e eficiência dos sistemas HS-WIM. Além disso, eles ajudam a identificar possíveis problemas e oportunidades de aprimoramento, o que contribui para a adequação e confiabilidade do sistema de pesagem ao longo do tempo. O acompanhamento do desempenho dos sistemas de pesagem ao longo de sua vida útil traz uma série de benefícios importantes, como segurança, cumprimento de regulamentações, eficiência operacional, manutenção preventiva e controle do excesso de carga.

A partir do acompanhamento do desempenho dos sistemas de pesagem em movimento, é possível garantir que os veículos estejam dentro dos limites de peso estabelecidos, aumentando a segurança nas estradas, além de promover o cumprimento das regulamentações, em relação ao peso máximo permitido para veículos de carga, evitando multas e sanções legais. A manutenção preventiva é facilitada ao identificar problemas nos sistemas de pesagem antes que se tornem falhas graves, evitando interrupções não planejadas nas operações.

O presente documento, denominado *Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos da Frota (I)*, é um dos produtos previstos pela Ação 5 – Coleta de Dados, Testes e Avaliações de Novas Tecnologias de Pesagem em Movimento (WIM) para Políticas de Fiscalização Direta do Plano de Trabalho, e tem como objetivo apresentar os resultados de desempenho dos sistemas de pesagem em movimento instalados no sítio de pesquisa, utilizando os veículos da frota e os dados de referência do Posto de Pesagem Veicular (PPV) de Araranguá/SC.

Os resultados obtidos são comparados com os erros máximos obtidos pelos sistemas, com os limites para erro máximo admissível, estabelecidos no Regulamento Técnico Metrológico da Portaria nº 19 do INMETRO, de 12 de janeiro de 2022 (Brasil, 2022), em vigência no país, com os limites da recomendação R 134-1 (OIML, 2006) da Organização Internacional de Metrologia Legal (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*, OIML) e pelo procedimento estabelecido na especificação de referência COST 323 (COST, 1999).

O documento em questão apresenta uma estrutura que aborda os aspectos relacionados ao sítio de pesquisas de pesagem em movimento, o sistema utilizado, os procedimentos de registro dos dados coletados e a análise de desempenho do sistema HS-WIM. Este capítulo 1 aborda uma breve introdução sobre o conteúdo do documento.

O Capítulo 2 apresenta detalhes sobre o sítio de pesquisas de pesagem em movimento, incluindo uma descrição da infraestrutura existente. Isso envolve a apresentação 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). Posteriormente, é descrito o sistema utilizado na pesquisa, fornecendo informações relevantes sobre suas características e funcionalidades.

No Capítulo 3, são fornecidos detalhes específicos sobre como os dados foram registrados para o sistema de pesagem em movimento e o sistema referencial de pesagem em baixa velocidade. No Capítulo 4, é realizada a análise de desempenho dos sistemas, abordando diferentes aspectos. São definidos os pesos de referência para a análise, discutidos os erros observados nas amostras coletadas e é realizada a verificação de desempenho em função dos documentos de referência. O Capítulo 5, de forma sucinta, apresenta uma análise geral e a discussão dos resultados. Por fim, no Capítulo 6, são prestadas as considerações finais.

## 2. Sítio de Pesquisas de Pesagem em Movimento

O presente projeto envolve a utilização de um sítio de pesquisas dedicado à avaliação de tecnologias de pesagem em movimento no município de Araranguá/SC, situado entre os quilômetros 415 e 418 da rodovia BR-101/SC (sentido sul), conforme ilustrado na Figura 1. O objetivo é conduzir estudos e pesquisas aplicadas visando modernizar os sistemas de fiscalização e monitoramento rodoviário, utilizando equipamentos de pesagem em alta velocidade. Desde 2007, são realizadas pesquisas para o desenvolvimento tecnológico de sistemas de pesagem no sítio de Araranguá/SC, por meio de termos de cooperação firmados entre o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), responsável pelo trecho antes da concessão, e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), representada pelo Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans), tendo a Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária (FAPEU) como gestora administrativa e financeira na execução desses projetos. Ao longo dos anos de pesquisa, os sistemas *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) de várias empresas, tanto nacionais quanto internacionais, foram instalados no sítio supracitado, no qual foram projetados e executados trechos de pavimento especialmente para o suporte desses sistemas.

Figura 1 – Vista aérea do sítio de pesquisa de tecnologias HS-WIM em Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2024)

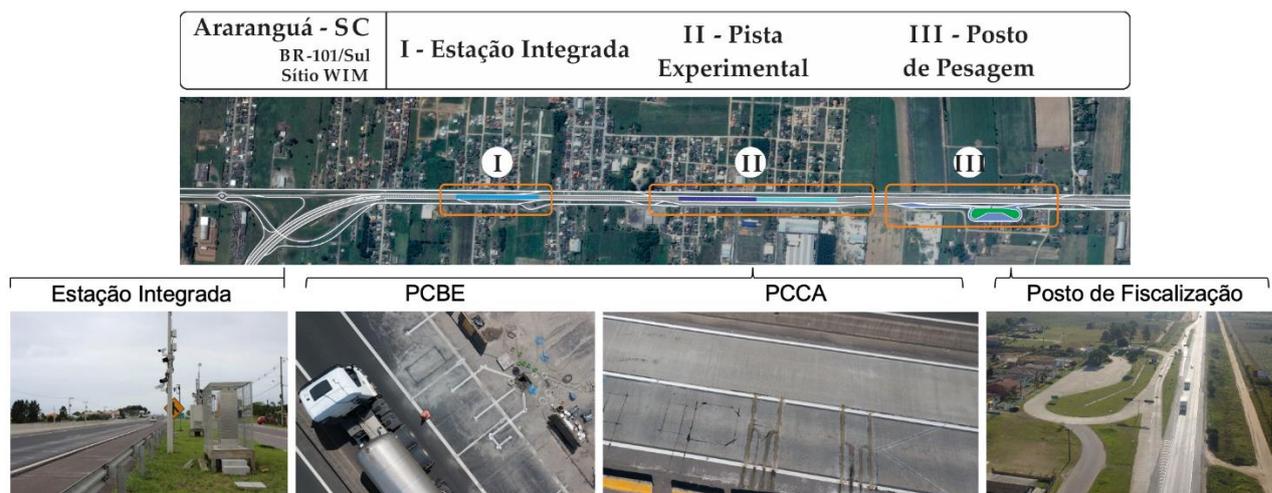
## 2.1. Apresentação da infraestrutura existente

Anteriormente à concessão do trecho, foram realizados projetos em Araranguá/SC que envolveram a instalação de uma infraestrutura especializada para pesquisas no local. Neste contexto, foi implantada uma pista experimental composta por dois trechos de pavimentação para HS-WIM: um trecho em Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA) – sendo, inclusive, o primeiro de seu tipo a ser implantado no Brasil em uma rodovia de alto fluxo –, e um trecho em Pavimento de Concreto Betuminoso Espesso (PCBE). Ademais, o sítio de pesquisa também conta com uma Estação Integrada (EI) dotada de pavimentação betuminosa espessa adaptada para HS-WIM. Esses três segmentos encontram-se instrumentados com sensores de diferentes tipos para a realização de pesquisas sobre a pesagem em movimento em alta velocidade.

Além disso, todos os sistemas HS-WIM do sítio de pesquisa em questão estão alocados antes de um Posto de Pesagem Veicular (PPV) existente no local, munido de balança de precisão em baixa velocidade, o que permite verificar a exatidão das aferições de peso dos veículos passantes, servindo como referência para a avaliação do desempenho dos sistemas HS-WIM com veículos da própria frota local. Tal fato, junto a sua localização privilegiada em uma rodovia federal de alto fluxo, de, aproximadamente, 3.500 veículos pesados por dia (PNCT, 2024), confere ao sítio de pesquisa de Araranguá/SC destaque mundial, fazendo com que a capacidade de coleta de dados dos sistemas seja significativa, além de garantir confiabilidade aos testes dos sistemas.

A Figura 2 apresenta a localização da EI, da Pista Experimental (composta pelos trechos em PCBE e PCCA) e do PPV.

Figura 2 – Sítio de Pesquisa de HS-WIM de Araranguá/SC e seus componentes

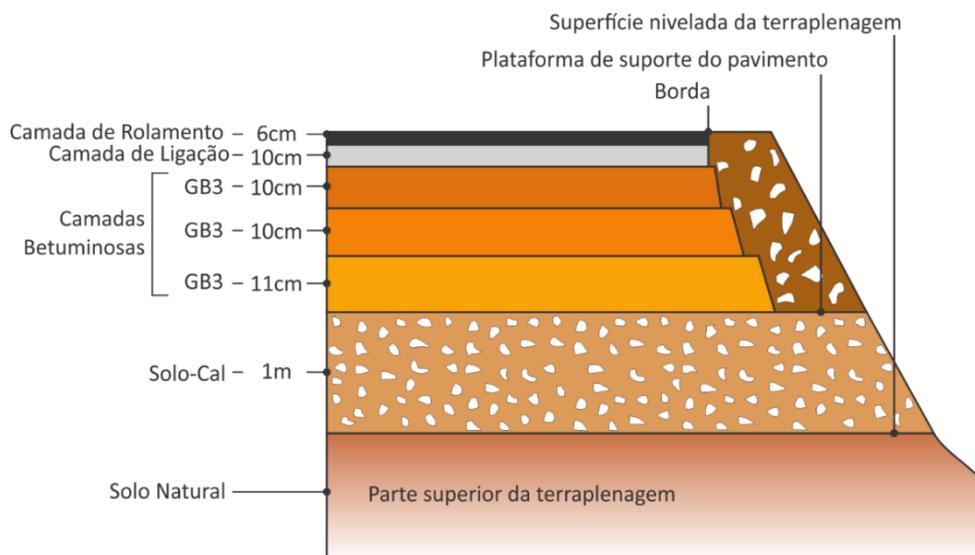


Fonte: FAPEU (2024)

### 2.1.1. Pista Experimental: PCBE

O trecho composto por PCBE foi dimensionado segundo a metodologia francesa, ilustrada na Figura 3, visando à fiscalização direta. O PCBE é uma das soluções de estudo de sistemas de pesagem em diferentes concepções de estruturas de pavimentos, com a pista em questão contando com 120 metros de extensão, 47 centímetros de espessura de concreto asfáltico e um subleito reforçado de um metro de espessura da camada de solo estabilizado com cal. Tais condições de estrutura e geometria atendem aos critérios definidos na “Classe I – Excelente” da especificação europeia COST 323 (COST, 1999), estabelecida para os sistemas HS-WIM.

Figura 3 – Estrutura do PCBE dimensionado de acordo com a metodologia francesa



Fonte: FAPEU (2024)

## 2.2. Apresentação do sistema HS-WIM

Conforme apontado anteriormente, o sítio de pesquisas de pesagem em movimento de Araranguá/SC obteve destaque mundial, atraindo, portanto, investimentos de variadas empresas que desejaram testar suas tecnologias e sistemas HS-WIM no local. Neste produto, será abordado exclusivamente um sistema HS-WIM, bem como seu respectivo desempenho.

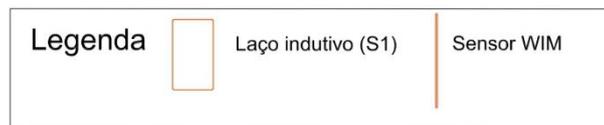
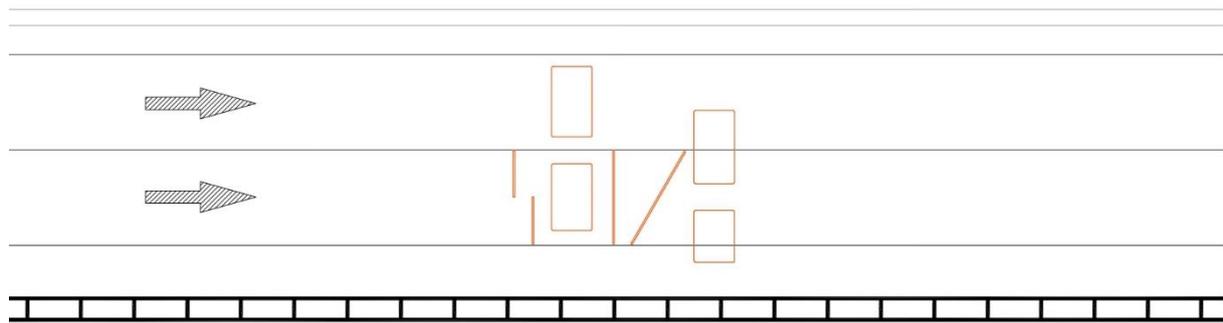
O sistema de pesagem em movimento está alocado no trecho em PCBE do sítio de pesquisas, exposto na Figura 4, e é composto por laços indutivos e sensores HS-WIM, dispostos de acordo com a Figura 5. Trata-se do sistema mais recente a ser instalado no sítio de pesquisas, em novembro de 2022.

Figura 4 – Sistema HS-WIM *in loco*



Fonte: FAPEU (2024)

Figura 5 – Estrutura do sistema HS-WIM



Fonte: FAPEU (2024)

### 3. Registro dos Dados

Neste capítulo, são apresentados os registros de pesagens referentes às informações de peso e velocidade das passadas dos veículos da frota, coletados pelo sistema de pesagem comercial e pelo Posto de Pesagem Veicular (PPV), no intervalo de 2 de janeiro a 31 de janeiro. O sistema *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) deve coletar as informações que são necessárias para a identificação do veículo (sua placa), sua classificação (implicando no número de eixos, distância entre os mesmos e diferenciação de rodado duplo e simples), a pesagem (peso bruto total, peso por eixo e peso por grupo de eixos) e as circunstâncias da passada (como velocidade, temperatura do pavimento e posição lateral).

Durante o período a ser analisado, todos os veículos que passam sobre o sistema de pesagem são identificados e as informações coletadas são registradas no banco de dados interno do sistema. A identificação dos veículos passantes é feita pela placa veicular, por meio de câmeras de Leitura Automática de Placas Veiculares (LAP). A Figura 6 apresenta um exemplo do registro de dados coletado dos veículos da frota.

Figura 6 – Exemplo do registro de dados coletados pelos sistemas comerciais

| Detail | Sensor   | Time                | Pictogram | Registration plate ILPC | Image | Registration plate - back ILPC - back | Image - back | ADR Image | Total weight | Speed   | Trailer | Axle count |
|--------|----------|---------------------|-----------|-------------------------|-------|---------------------------------------|--------------|-----------|--------------|---------|---------|------------|
|        | AR-UR-W1 | 2023-05-24 10:55:37 |           | MGC3965                 |       | MGC3965                               |              |           | 1017 kg      | 92 km/h |         | 2          |
|        | AR-UR-W1 | 2023-05-24 10:55:22 |           | JAK8H16                 |       | JAL2H91                               |              |           | 50136 kg     | 75 km/h | Trailer | 6          |
|        | AR-UR-W1 | 2023-05-24 10:55:03 |           | MHG2C13                 |       | MHG2C13                               |              |           | 1660 kg      | 67 km/h |         | 2          |
|        | AR-UR-W1 | 2023-05-24 10:54:58 |           | LZB1617                 |       | N/A                                   |              |           | 18202 kg     | 56 km/h |         | 3          |
|        | AR-UR-W1 | 2023-05-24 10:54:54 |           | MIC8965                 |       | N/A                                   |              |           | 72 kg        | 72 km/h |         | 3          |

Fonte: FAPEU (2024)

A seguir, são exibidos alguns dos dados coletados pelo sistema HS-WIM que serão utilizados na análise de desempenho no Capítulo 5. O Quadro 1 apresenta os dados com as seguintes informações: data e a hora de coleta, a velocidade (em Km/h), o Peso Bruto Total (PBT), o peso por grupo de eixos (G1, G2 e G3) e o peso por eixo (E1, E2, E3, E4, E5 e E6), todos os pesos estando em quilogramas.

Quadro 1– Dados coletados dos veículos da frota pelo Sistema HS-WIM

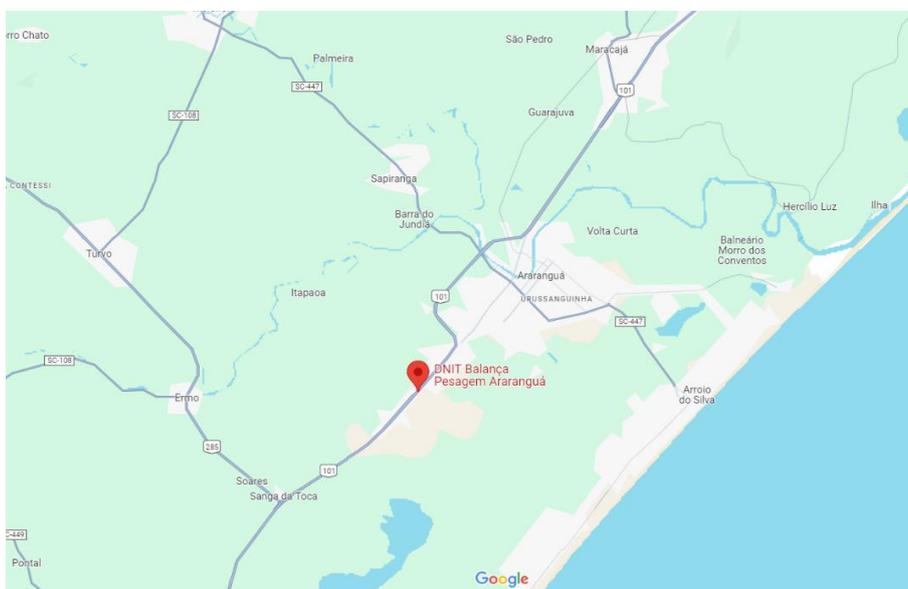
| Data/hora        | Vel. | PBT   | G1   | G2    | G3    | E1   | E2    | E3   | E4   | E5    | E6    |
|------------------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|
| 05/01/2024 09:53 | 71   | 49770 | 6002 | 16335 | 27433 | 6002 | 10052 | 6283 | 8844 | 8854  | 9735  |
| 05/01/2024 09:56 | 73   | 20007 | 5989 | 14018 | 0     | 5989 | 8111  | 5907 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 10:13 | 64   | 22153 | 5245 | 16908 | 0     | 5245 | 9814  | 7094 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 10:13 | 63   | 48894 | 6027 | 15736 | 27131 | 6027 | 8903  | 6833 | 7849 | 11116 | 8166  |
| 05/01/2024 10:14 | 60   | 48001 | 5902 | 14594 | 27505 | 5902 | 8926  | 5668 | 9086 | 8492  | 9927  |
| 05/01/2024 10:13 | 64   | 22153 | 5245 | 16908 | 0     | 5245 | 9814  | 7094 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 10:16 | 76   | 46783 | 6194 | 13626 | 26963 | 6194 | 6827  | 6799 | 8309 | 9426  | 9228  |
| 05/01/2024 10:20 | 70   | 48899 | 5787 | 14733 | 28379 | 5787 | 8561  | 6172 | 8743 | 10063 | 9573  |
| 05/01/2024 10:59 | 69   | 46903 | 6182 | 16055 | 24666 | 6182 | 9655  | 6400 | 7724 | 8361  | 8581  |
| 05/01/2024 11:02 | 65   | 47572 | 6219 | 17961 | 23392 | 6219 | 10038 | 7923 | 6710 | 8654  | 8028  |
| 05/01/2024 11:11 | 70   | 23614 | 4214 | 19400 | 0     | 4214 | 10099 | 9301 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 11:12 | 64   | 16798 | 5234 | 11564 | 0     | 5234 | 6382  | 5182 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 11:14 | 61   | 45224 | 6625 | 16793 | 21806 | 6625 | 8921  | 7872 | 7152 | 6577  | 8077  |
| 05/01/2024 11:16 | 72   | 48328 | 6035 | 15107 | 27186 | 6035 | 8273  | 6834 | 8366 | 10134 | 8686  |
| 05/01/2024 11:14 | 61   | 45224 | 6625 | 16793 | 21806 | 6625 | 8921  | 7872 | 7152 | 6577  | 8077  |
| 05/01/2024 11:35 | 64   | 32940 | 6164 | 10790 | 15986 | 6164 | 10790 | 5668 | 4920 | 5398  | 0     |
| 05/01/2024 11:35 | 64   | 32940 | 6164 | 10790 | 15986 | 6164 | 10790 | 5668 | 4920 | 5398  | 0     |
| 05/01/2024 11:54 | 78   | 12423 | 4735 | 7688  | 0     | 4735 | 4323  | 3365 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:03 | 46   | 47447 | 6381 | 17330 | 23736 | 6381 | 9448  | 7882 | 5278 | 7189  | 11269 |
| 05/01/2024 12:05 | 69   | 23478 | 6098 | 17380 | 0     | 6098 | 10090 | 7290 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:11 | 72   | 49713 | 4966 | 18138 | 26609 | 4966 | 10703 | 7435 | 8358 | 8197  | 10054 |
| 05/01/2024 12:11 | 72   | 49713 | 4966 | 18138 | 26609 | 4966 | 10703 | 7435 | 8358 | 8197  | 10054 |
| 05/01/2024 12:36 | 80   | 46609 | 5977 | 16252 | 24380 | 5977 | 8729  | 7523 | 8312 | 8070  | 7998  |
| 05/01/2024 12:42 | 75   | 11913 | 6170 | 5743  | 0     | 6170 | 3468  | 2275 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:43 | 71   | 23501 | 5004 | 18497 | 0     | 5004 | 9874  | 8623 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:43 | 74   | 15146 | 4849 | 10297 | 0     | 4849 | 6099  | 4198 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:48 | 70   | 22787 | 4700 | 18087 | 0     | 4700 | 10127 | 7960 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:51 | 72   | 24002 | 6853 | 17149 | 0     | 6853 | 9845  | 7304 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:58 | 53   | 13822 | 5053 | 8769  | 0     | 5053 | 5021  | 3748 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 13:14 | 66   | 47884 | 5413 | 13554 | 28917 | 5413 | 8304  | 5250 | 7575 | 12237 | 9105  |
| 05/01/2024 13:26 | 61   | 45960 | 5641 | 16047 | 24272 | 5641 | 8918  | 7129 | 7945 | 8438  | 7889  |

| Data/hora        | Vel. | PBT   | G1   | G2    | G3    | E1   | E2    | E3   | E4    | E5   | E6   |
|------------------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|
| 05/01/2024 13:36 | 75   | 43418 | 6056 | 11411 | 25951 | 6056 | 11411 | 5324 | 10636 | 9991 | 0    |
| 05/01/2024 13:39 | 68   | 22278 | 6534 | 15744 | 0     | 6534 | 8400  | 7344 | 0     | 0    | 0    |
| 05/01/2024 13:42 | 62   | 48818 | 6319 | 16496 | 26003 | 6319 | 7790  | 8706 | 9117  | 8916 | 7970 |
| 05/01/2024 13:42 | 57   | 49431 | 6308 | 17685 | 25438 | 6308 | 9961  | 7724 | 8887  | 8404 | 8147 |

Fonte: FAPEU (2024)

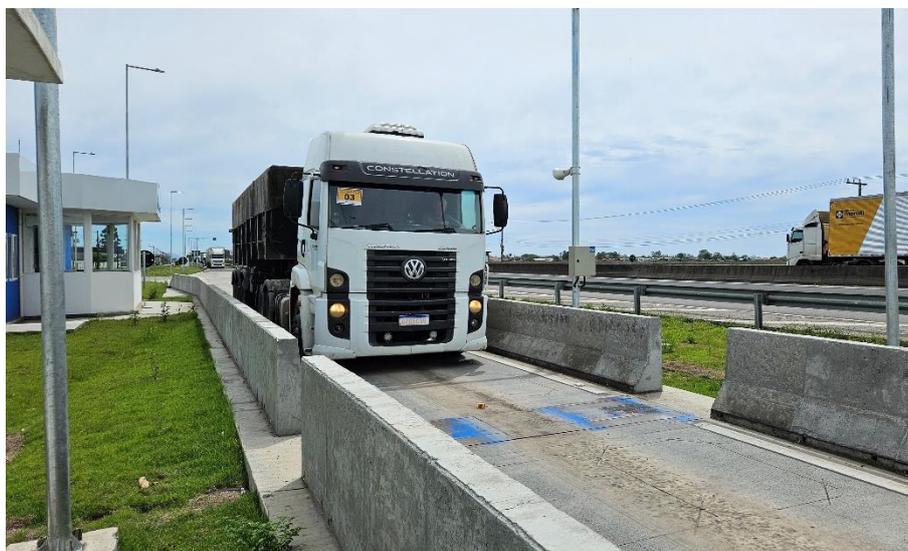
Para a obtenção dos pesos de referência dos veículos, foram considerados os valores coletados nas pesagens em baixa velocidade, realizadas no PPV localizado no próprio sítio de pesquisas de Araranguá, no quilômetro 418 da BR-101 (sentido sul). A Figura 7 – Localização mostra a localização do PPV e a Figura 8 apresenta a balança do PPV utilizada nesta etapa.

Figura 7 – Localização do PPV



Fonte: FAPEU (2024)

Figura 8 – Balança do PPV, em Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2024)

O Quadro 2 apresenta dados de velocidade, de PBT, de peso por grupos de eixos (G1, G2 e G3), de peso por eixos individuais (E1, E2, E3, E4, E5 e E6) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema do Posto de Fiscalização da CCR para os veículos da frota local.

Quadro 2 – Dados coletados dos veículos da frota pelo PPV

| Data/hora        | Vel. | PBT   | G1   | G2    | G3    | E1   | E2    | E3   | E4   | E5    | E6    |
|------------------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|
| 05/01/2024 09:54 | 71   | 49090 | 5930 | 16350 | 26810 | 5930 | 9890  | 6460 | 8480 | 8300  | 10030 |
| 05/01/2024 09:57 | 73   | 19700 | 5890 | 13810 | 0     | 5890 | 7800  | 6010 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 10:14 | 64   | 21810 | 5330 | 16480 | 0     | 5330 | 9500  | 6980 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 10:15 | 63   | 48280 | 6010 | 15370 | 26900 | 6010 | 8570  | 6800 | 7170 | 11080 | 8650  |
| 05/01/2024 10:16 | 60   | 48530 | 5850 | 14580 | 28100 | 5850 | 8990  | 5590 | 8340 | 9380  | 10380 |
| 05/01/2024 10:17 | 64   | 22130 | 5280 | 16850 | 0     | 5280 | 9760  | 7090 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 10:18 | 76   | 46000 | 5880 | 13710 | 26410 | 5880 | 6820  | 6890 | 7390 | 9110  | 9910  |
| 05/01/2024 10:22 | 70   | 47390 | 5740 | 14740 | 26910 | 5740 | 8530  | 6210 | 7800 | 9420  | 9690  |
| 05/01/2024 11:00 | 69   | 46100 | 6040 | 16030 | 24030 | 6040 | 9640  | 6390 | 7140 | 8150  | 8740  |
| 05/01/2024 11:04 | 65   | 47690 | 6160 | 18490 | 23040 | 6160 | 10120 | 8370 | 6400 | 8740  | 7900  |
| 05/01/2024 11:12 | 70   | 22720 | 4050 | 18670 | 0     | 4050 | 9680  | 8990 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 11:14 | 64   | 16770 | 5120 | 11650 | 0     | 5120 | 6420  | 5230 | 0    | 0     | 0     |
| 05/01/2024 11:15 | 61   | 44630 | 6680 | 16470 | 21480 | 6680 | 8690  | 7780 | 6960 | 6500  | 8020  |
| 05/01/2024 11:17 | 72   | 47930 | 5900 | 15050 | 26980 | 5900 | 8530  | 6520 | 8150 | 9790  | 9040  |
| 05/01/2024 11:18 | 61   | 45380 | 6490 | 16770 | 22120 | 6490 | 9220  | 7550 | 7080 | 6730  | 8310  |
| 05/01/2024 11:36 | 64   | 33450 | 6320 | 10540 | 16590 | 6320 | 10540 | 5380 | 5290 | 5920  | 0     |
| 05/01/2024 11:37 | 64   | 32230 | 6300 | 10630 | 15300 | 6300 | 10630 | 5050 | 4950 | 5300  | 0     |

| Data/hora        | Vel. | PBT   | G1   | G2    | G3    | E1   | E2    | E3   | E4    | E5    | E6    |
|------------------|------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| 05/01/2024 12:00 | 78   | 12510 | 4570 | 7940  | 0     | 4570 | 4400  | 3540 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:05 | 46   | 47040 | 6300 | 17040 | 23700 | 6300 | 9250  | 7790 | 5140  | 7170  | 11390 |
| 05/01/2024 12:06 | 69   | 23480 | 6060 | 17420 | 0     | 6060 | 9550  | 7870 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:13 | 72   | 49700 | 4790 | 17850 | 27060 | 4790 | 10480 | 7370 | 7850  | 8800  | 10410 |
| 05/01/2024 12:15 | 72   | 48620 | 4770 | 17610 | 26240 | 4770 | 10470 | 7140 | 7240  | 8620  | 10380 |
| 05/01/2024 12:39 | 80   | 45650 | 5970 | 15700 | 23980 | 5970 | 8650  | 7050 | 8010  | 8010  | 7960  |
| 05/01/2024 12:43 | 75   | 11990 | 5940 | 6050  | 0     | 5940 | 3380  | 2670 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:45 | 71   | 23020 | 5160 | 17860 | 0     | 5160 | 9280  | 8580 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:45 | 74   | 15130 | 4670 | 10460 | 0     | 4670 | 6010  | 4450 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:50 | 70   | 21780 | 4780 | 17000 | 0     | 4780 | 10100 | 6900 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 12:53 | 72   | 24070 | 6970 | 17100 | 0     | 6970 | 9680  | 7420 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 13:00 | 53   | 13770 | 5130 | 8640  | 0     | 5130 | 5040  | 3600 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 13:15 | 66   | 48040 | 5610 | 13340 | 29090 | 5610 | 7890  | 5450 | 7430  | 12080 | 9580  |
| 05/01/2024 13:27 | 61   | 45570 | 5370 | 15880 | 24320 | 5370 | 8650  | 7230 | 7590  | 8230  | 8500  |
| 05/01/2024 13:38 | 75   | 43270 | 6040 | 11170 | 26060 | 6040 | 11170 | 5080 | 10610 | 10370 | 0     |
| 05/01/2024 13:42 | 68   | 21500 | 6070 | 15430 | 0     | 6070 | 8150  | 7280 | 0     | 0     | 0     |
| 05/01/2024 13:43 | 62   | 48300 | 6290 | 16230 | 25780 | 6290 | 8000  | 8230 | 9190  | 9190  | 7400  |
| 05/01/2024 13:44 | 57   | 49180 | 6310 | 17460 | 25410 | 6310 | 9730  | 7730 | 8890  | 8190  | 8330  |

Fonte: FAPEU (2024)



## 4. Análise de Desempenho dos Sistemas

Os pesos obtidos pelo sistema comercial escolhido para análise foram comparados com os valores de referência dos veículos da frota, com a finalidade de avaliar o desempenho do sistema instalado no que tange a sua capacidade de estimar os pesos reais dos veículos passantes. O primeiro passo neste processo de análise consiste na definição dos pesos de referência a serem adotados, processo que, por sua vez, é feito com a compatibilização das informações dos veículos obtidos pelo *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) com as informações do Posto de Pesagem Veicular (PPV). Com os pesos de referências definidos, são calculados os erros percentuais para cada registro de pesagem apresentado pelo sistema de pesagem em movimento. Para cada registro, são analisados: o erro na medição do Peso Bruto Total (PBT), o erro na medição dos pesos de cada grupo (que pode ser composto por um eixo isolado ou por um conjunto de eixos próximos) e o erro na medição dos pesos dos eixos individuais.

A medição dos pesos dos eixos individuais que compõem grupos de eixos é realizada com propósitos de pesquisa e exploração, uma vez que a carga aplicada pelos eixos de forma individual, quando o veículo se encontra em movimento e sujeito às ações dinâmicas, mistura-se e distribui-se entre os eixos do grupo, tornando mais complexa a divisão de peso entre cada eixo. Para aplicações práticas de fiscalização, os limites de peso legais são aplicados somente aos grupos de eixos, não sendo avaliados os pesos dos eixos que compõem cada grupo.

Uma vez calculados todos os erros para os registros de pesagem, inicia-se a etapa de análise de desempenho do sistema. Nessa etapa, é verificada a distribuição estatística dos valores de erro percentuais apresentados para cada tipo de medição (PBT, grupos de eixos, eixos isolados ou eixos individuais). A partir dessa composição, são aplicados os critérios para três metodologias de análise diferentes, baseadas em normas e recomendações nacionais e internacionais. Primeiramente, são comparados os erros máximos apresentados pelos sistemas ao erro máximo admissível estabelecido pelo *Regulamento Técnico Metrológico* atualmente vigente no país da Portaria nº 19, de 12 de janeiro de 2022 (Brasil, 2022) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Os erros máximos também são comparados com os limites da recomendação R 134-1 (OIML, 2006) da Organização Internacional de Metrologia Legal (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*, OIML). Além da verificação dos erros máximos, também se aplica o procedimento estabelecido na especificação de referência COST 323 (COST, 1999), documento internacional

de referência elaborado para embasar a criação de normativas para a avaliação de desempenho de sistemas HS-WIM. O procedimento da COST 323 não consiste apenas na comparação dos erros máximos, mas na aplicação de um tratamento estatístico da amostra de erros coletados para verificar o nível de confiança estatístico dos resultados apresentados pelo sistema.

#### **4.1. Processamento dos dados**

Previamente à análise, é feito o processamento dos dados, que consiste na conversão de dados brutos em informações úteis. Nessa etapa, são identificados e corrigidos problemas nos dados, como valores ausentes, e em seguida é realizada a compatibilização dos veículos registrados pelo sistema HS-WIM com o sistema do PPV.

Para o tratamento dos dados, foram aplicados filtros ao conjunto de registros do PPV, visando detectar a ocorrência de erros. Iniciou-se com a remoção de dados nos quais o PBT é menor que 7.500 quilogramas, pois este peso está abaixo do peso da estrutura dos veículos sem carga. Ainda, houve a remoção de dados que possuíam carga zerada em eixos específicos (no primeiro eixo, por exemplo), visto que todos os veículos deveriam possuir, pelo menos, dois eixos para suportar a carga total do veículo. Dessa forma, foi aplicado um filtro para selecionar apenas os veículos cujo peso em ambos os eixos fosse superior a zero.

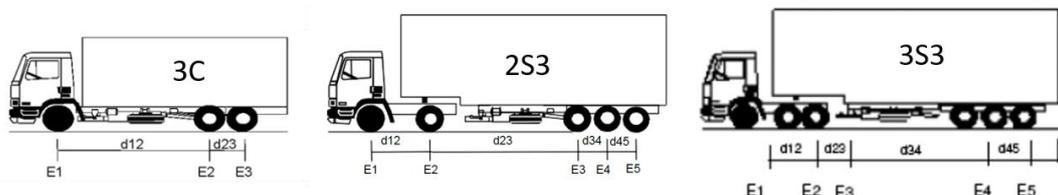
Outra característica relevante dos dados coletados é que, em alguns casos, houve erro de leitura das placas dos veículos, requerendo, portanto, que esses registros fossem eliminados da análise. Também foi necessário excluir os dados nos quais a classificação dos veículos foi realizada com erros.

A combinação dos dados do HS-WIM aos dados da balança de fiscalização é realizada por meio da correspondência das placas presentes em ambos os registros. Tendo em vista que um veículo pode ter percorrido o trajeto mais de uma vez ao longo do dia, leva-se em consideração a data e o horário da passagem do veículo, com um intervalo máximo de até dez minutos de diferença, para ser considerada a mesma passagem.

Para este estudo, foram escolhidas três classes de veículos que representam a maior parte do tráfego local, levando em conta também que estas classes foram utilizadas na análise do Produto 6 – Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos de Peso Conhecido (I e II).

No âmbito do sítio de pesquisas de Araranguá/SC, as classes que melhor representam os veículos da frota são as classes 3C, 2S3 e 3S3, apresentadas na Figura 9.

Figura 9 – Classes selecionadas para a análise de dados do sistema HS-WIM



Fonte: FAPEU (2024)

## 4.2. Erros observados nas amostras

A partir da comparação entre os pesos de referência apresentados, calcula-se os erros percentuais para cada registro de pesagem,  $E_{\%}$ , a partir da Equação (1).

$$E_{\%} = \frac{V_a - V_r}{V_r} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

“ $V_a$ ” é o valor do PBT;

“ $V_r$ ” é o valor de referência.

Alguns valores de erro percentual apresentam discrepâncias em relação ao conjunto de dados, tanto em termos de PBT quanto em valores por eixo e grupo de eixo. Essas assimetrias podem afetar os resultados da análise, portanto, uma forma de identificar estes *outliers* é por meio do Critério de Chauvenet (Anderson, 2023), que utiliza o seguinte processo:

- Para cada valor individual  $x_i$  no conjunto de dados, calcula-se o desvio da média a partir da Equação 2:

$$Desvio = |x_i - \bar{x}| / s \quad (2)$$

Em que:

$\bar{x}$  é a média amostral;

$s$  é o desvio padrão amostral.

- Compara-se os desvios de cada valor individual com os valores críticos na tabela de Critérios de Chauvenet, apresentados na Figura 10. Se os desvios de dados individuais forem maiores que aqueles encontrados na tabela, considera-se os dados obtidos como *outliers*.

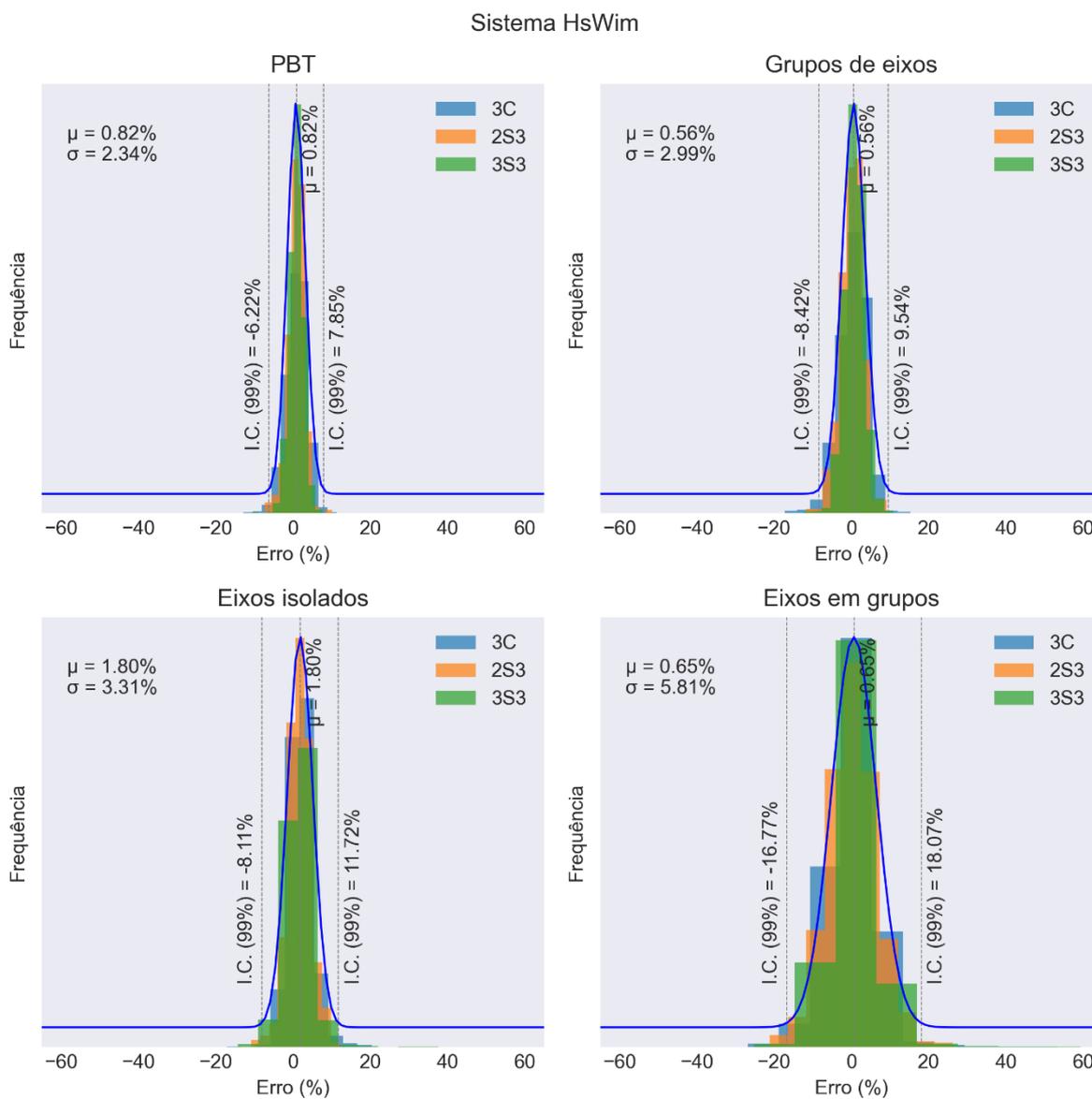
Figura 10 – Critérios de Chauvenet

| n  | Critical Value | n    | Critical Value |
|----|----------------|------|----------------|
| 2  | 1.150          | 24   | 2.311          |
| 3  | 1.383          | 25   | 2.326          |
| 4  | 1.534          | 26   | 2.341          |
| 5  | 1.645          | 27   | 2.355          |
| 6  | 1.732          | 28   | 2.369          |
| 7  | 1.803          | 29   | 2.382          |
| 8  | 1.863          | 30   | 2.394          |
| 9  | 1.915          | 31   | 2.406          |
| 10 | 1.960          | 32   | 2.418          |
| 11 | 2.000          | 33   | 2.429          |
| 12 | 2.037          | 34   | 2.440          |
| 13 | 2.070          | 35   | 2.450          |
| 14 | 2.100          | 36   | 2.460          |
| 15 | 2.128          | 37   | 2.470          |
| 16 | 2.154          | 38   | 2.479          |
| 17 | 2.178          | 39   | 2.489          |
| 18 | 2.200          | 40   | 2.498          |
| 19 | 2.222          | 50   | 2.576          |
| 20 | 2.241          | 100  | 2.807          |
| 21 | 2.260          | 500  | 3.291          |
| 22 | 2.278          | 1000 | 3.481          |
| 23 | 2.295          |      |                |

Fonte: Anderson (2023)

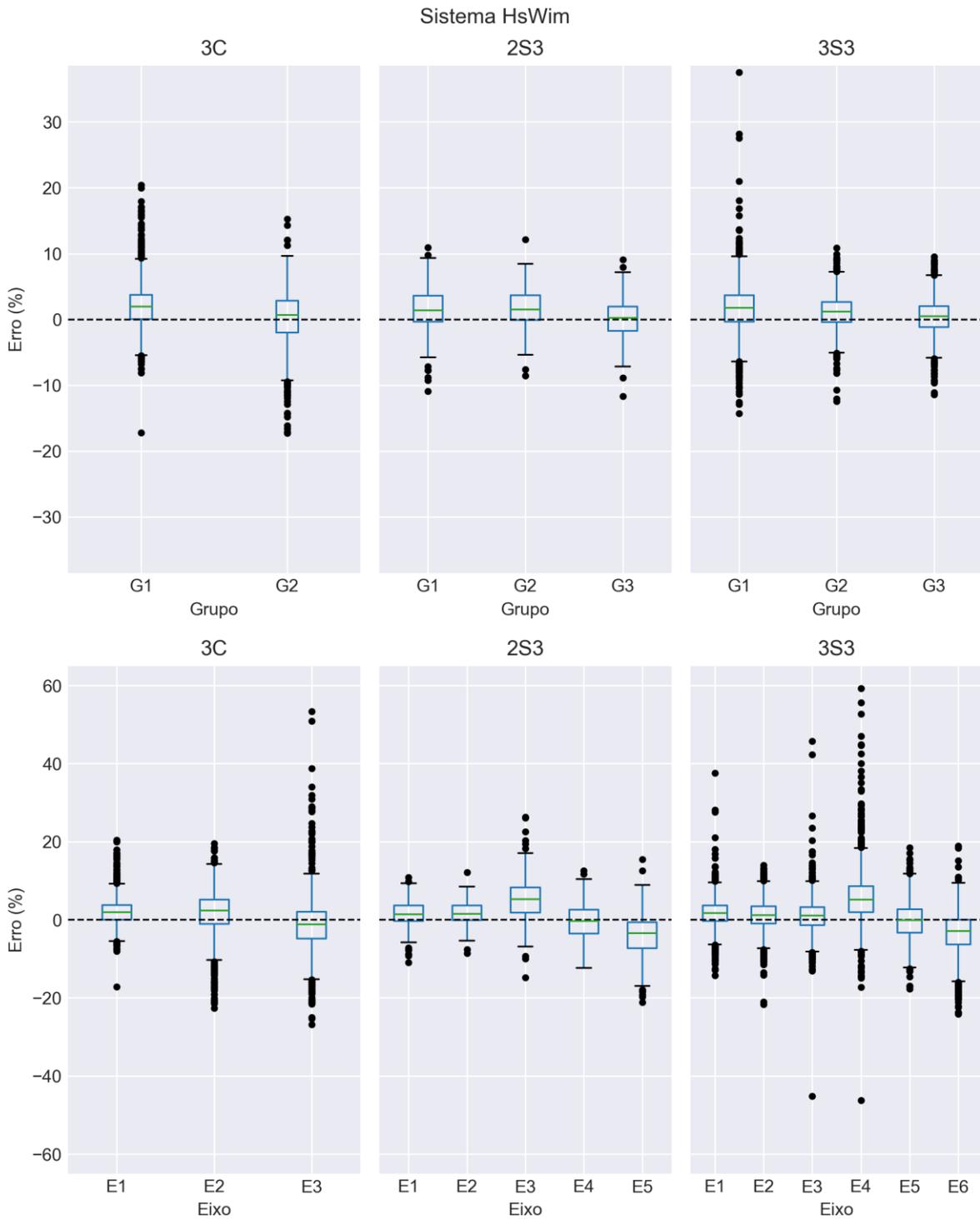
Com isso, os erros percentuais do sistema avaliado puderam ser calculados e as suas distribuições analisadas. As distribuições estatísticas dos erros observados para o sistema e para cada tipo de medição (PBT, grupos de eixos, eixos isolados ou eixos em grupos) podem ser visualizadas na Figura 11. Para verificar o desempenho do sistema, também é útil analisar qual o desempenho para cada eixo de cada veículo, permitindo identificar quais são os eixos que apresentam maior ou menor erro. Com essa finalidade, pode-se analisar a distribuição dos erros para cada eixo ou grupo de eixo, de cada veículo, a partir dos gráficos de caixa (*boxplot*) apresentados na Figura 12 .

Figura 11 – Distribuição dos erros percentuais observados no sistema HS-WIM



Fonte: FAPEU (2024)

Figura 12 – Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema HS-WIM



Fonte: FAPEU (2024)

### 4.3. Verificação de desempenho em função dos documentos de referência

Os documentos de referência adotados para a análise estabelecem limites de erro máximo admissível para algumas classes de desempenho. Além disso, eles possuem dois limites diferentes para a situação de verificação inicial do sistema e supervisão metrológica. Os limites utilizados para a comparação com os documentos normativos foram os limites para a supervisão metrológica, e não para a verificação inicial.

Os limites estabelecidos na recomendação OIML R 134-1 (OIML, 2006) e no regulamento aprovado pela Portaria nº 19/2022 (INMETRO, 2022) estão apresentados, respectivamente, na Figura 13 e na Figura 14, e na Figura 15 e na Figura 16. As distribuições dos erros para o sistema, em comparação com os limites do regulamento do INMETRO, estão apresentadas na Figura 17. Os valores máximos e mínimos de cada gráfico permitem a verificação também dos limites da tabela OIML.

Figura 13 – Limites estabelecidos na recomendação R 134-1 para o PBT

Table 2

| Accuracy class for vehicle mass | Percentage of conventional value of the vehicle mass (6.7) |                       |
|---------------------------------|--|-----------------------|
|                                 | Initial verification                                       | In-service inspection |
| 0.2                             | ±0.10 %  | ±0.20 %               |
| 0.5                             | ±0.25 %  | ±0.50 %               |
| 1                               | ±0.50 %  | ±1.00 %               |
| 2                               | ±1.00 %  | ±2.00 %               |
| 5                               | ±2.50 %  | ±5.00 %               |
| 10                              | ±5.00 %  | ±10.00 %              |

Fonte: OIML (2006)

Figura 14 – Limites estabelecidos na recomendação R 134-1 para eixos e grupos de eixos

Table 4

| Accuracy class for single-axle load and axle-group load | Percentage of the corrected mean single-axle load or corrected mean axle-group load |                       |
|---|---|-----------------------|
|   | Initial verification  | In-service inspection |
| A   | ±0.50 %   | ±1.00 %               |
| B   | ±1.00 %   | ±2.00 %               |
| C   | ±1.50 %   | ±3.00 %               |
| D   | ±2.00 %   | ±4.00 %               |
| E   | ±4.00 %   | ±8.00 %               |
| F   | ±8.00 %   | ±16.00 %              |

Fonte: OIML (2006)

Figura 15 – Limites do regulamento estabelecido pela Portaria nº 19/2022 para o PBT

Tabela 1

| Porcentagem do valor verdadeiro convencional da massa do veículo (7.6) |  |                            |
|--|--|----------------------------|
| Classes de exatidão  | Aprovação de Modelo, verificação inicial e verificação subsequente (±) | Supervisão metrológica (±) |
| 1  | 2,50%  | 5,00%                      |
| 2  | 3,50%  | 7,00%                      |
| 3  | 5,00%  | 10,00%                     |

Fonte: INMETRO (2022)

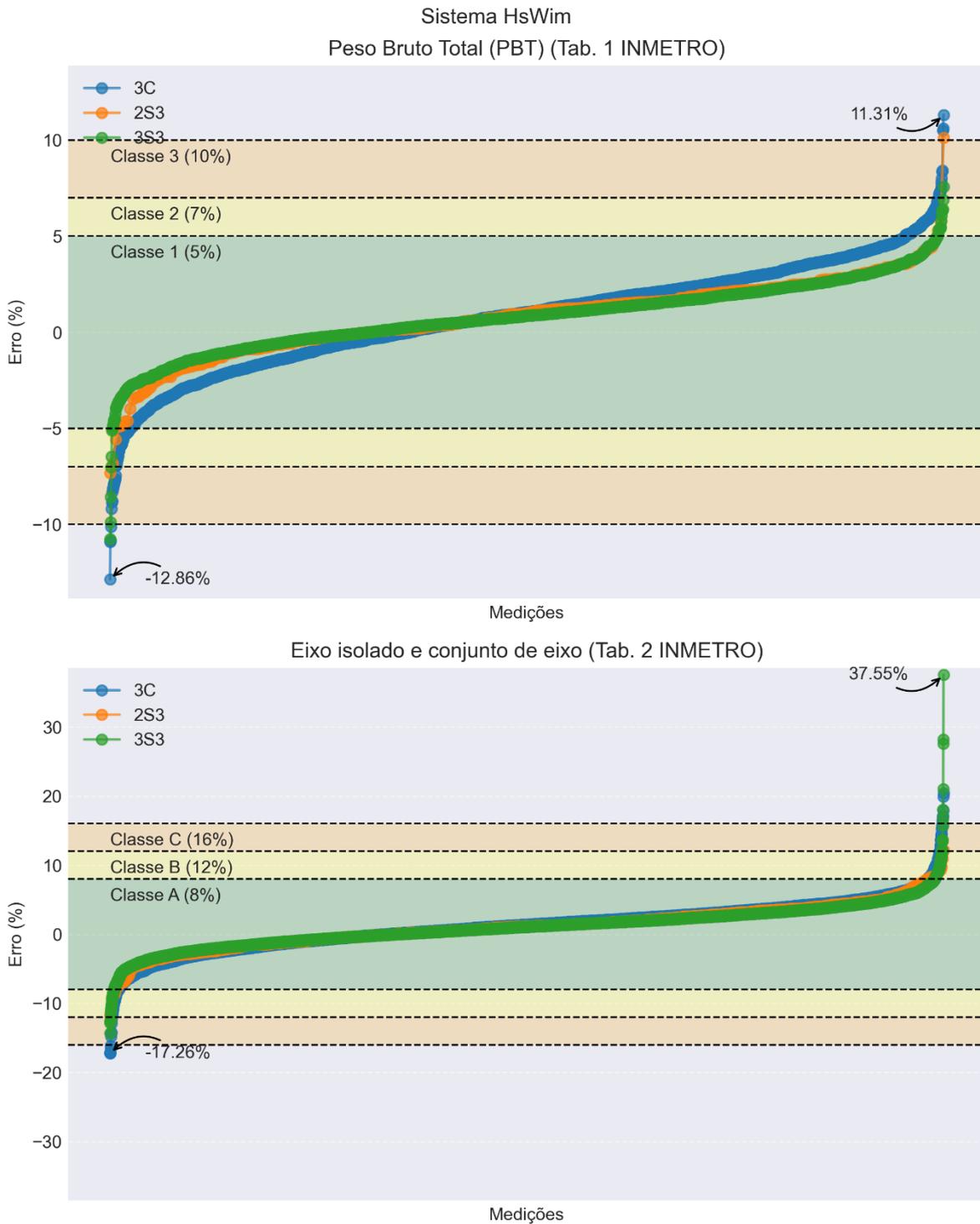
Figura 16 – Limites do regulamento estabelecido pela Portaria nº 19/2022 para eixos e grupos de eixos

Tabela 2

| Percentagem do valor verdadeiro convencional da carga estática de referência por eixo isolado (7.7) |  |                                  |
|---|--|----------------------------------|
| Classes de exatidão   | Aprovação de Modelo, verificação inicial e verificação subsequente ( $\pm$ ) | Supervisão metrológica ( $\pm$ ) |
| A   | 4,00%  | 8,00%                            |
| B   | 6,00%  | 12,00%                           |
| C   | 8,00%  | 16,00%                           |

Fonte: INMETRO (2022)

Figura 17 – Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema HS-WIM



Fonte: FAPEU (2024)

#### 4.3.1. Verificação estatística com a metodologia COST 323

A metodologia da *European Cooperation in Science and Technology* (COST) foi aplicada em função das distribuições estatísticas de erros para cada tipo de medição (PBT, grupos de eixos, eixos isolados e eixos em grupos) para obter as classificações. As classificações apresentadas pela metodologia são separadas por tipo de medição, e a classificação aceita (*Accepted class*) é considerada como a pior classificação dentre os tipos. O número entre parênteses da classe é uma indicação geral do valor dos erros para a classe: por exemplo, a classe “A(5)” indica que, dentro do intervalo de confiança da metodologia, os erros do sistema estão em até 5%. Os resultados para a classificação COST do sistema são apresentados no Quadro 3.

Quadro 3– Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema HS-WIM

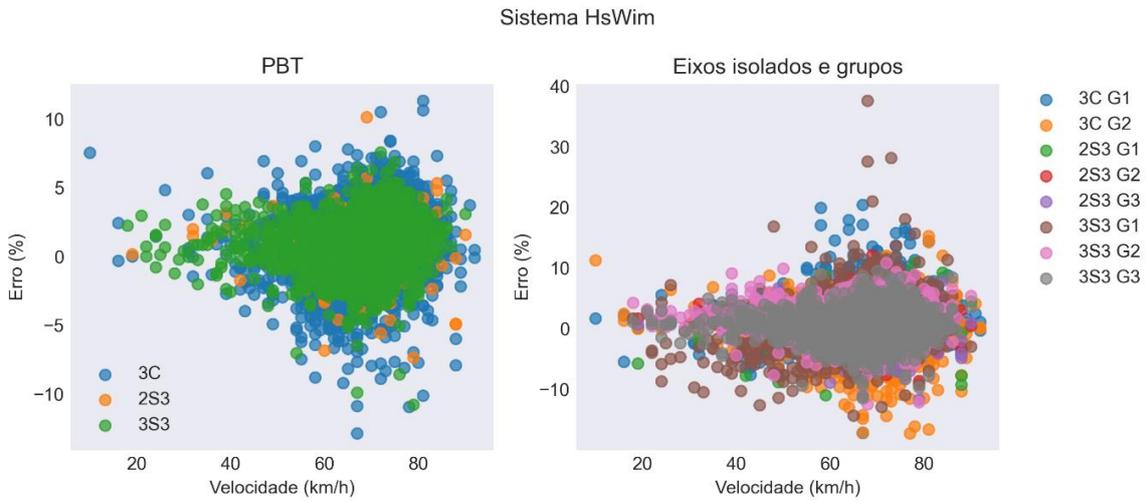
| SYSTEM<br>Entity | Number | Identified<br>(%) | Mean<br>(%) | Std deviat<br>(%) | $\pi_o$<br>(%) | Class        | $\delta$<br>(%) | $\delta_{min}$<br>(%) | $\delta_c$<br>(%) | $\pi$<br>(%) | Accepted<br>class |
|------------------|--------|-------------------|-------------|-------------------|----------------|--------------|-----------------|-----------------------|-------------------|--------------|-------------------|
| gross weight     | 4678   | 100.0             | 0.82        | 2.35              | 96.7           | <b>B+(7)</b> | 7               | 5.3                   | 5.3               | 99.5         | <b>B+(7)</b>      |
| group of axles   | 6730   | 100.0             | 0.56        | 2.99              | 96.7           | <b>A(5)</b>  | 7.143           | 6.6                   | 4.6               | 98.0         |                   |
| single axle      | 4967   | 100.0             | 1.80        | 3.31              | 96.7           | <b>B+(7)</b> | 11              | 8.0                   | 5.0               | 99.7         |                   |
| axle of group    | 15801  | 100.0             | 0.65        | 5.81              | 96.8           | <b>B+(7)</b> | 14              | 12.6                  | 6.3               | 98.3         |                   |

Fonte: FAPEU (2024)

#### 4.4. Análise exploratória

Foram realizados estudos para investigar a correlação dos erros apresentados pelo sistema com a velocidade das passadas e com o horário da coleta de dados. O objetivo principal deste estudo foi verificar a existência de problemas na coleta de dados, como falhas nos sistemas ou erros sistemáticos, em função da velocidade, por exemplo. Isso foi feito por meio de gráficos de dispersão dos erros em função das variáveis investigadas. Desta análise, não foram verificadas correlações ou problemas temporais na coleta dos dados, indicando que o sistema não sofreu falhas ou erros sistemáticos no registro das passadas e que a velocidade dos veículos, dentro do limite permitido, não influencia nos erros apresentados. Na Figura 18, é exibido um gráfico de dispersão de erros, em função da velocidade, aplicados para o sistema HS-WIM.

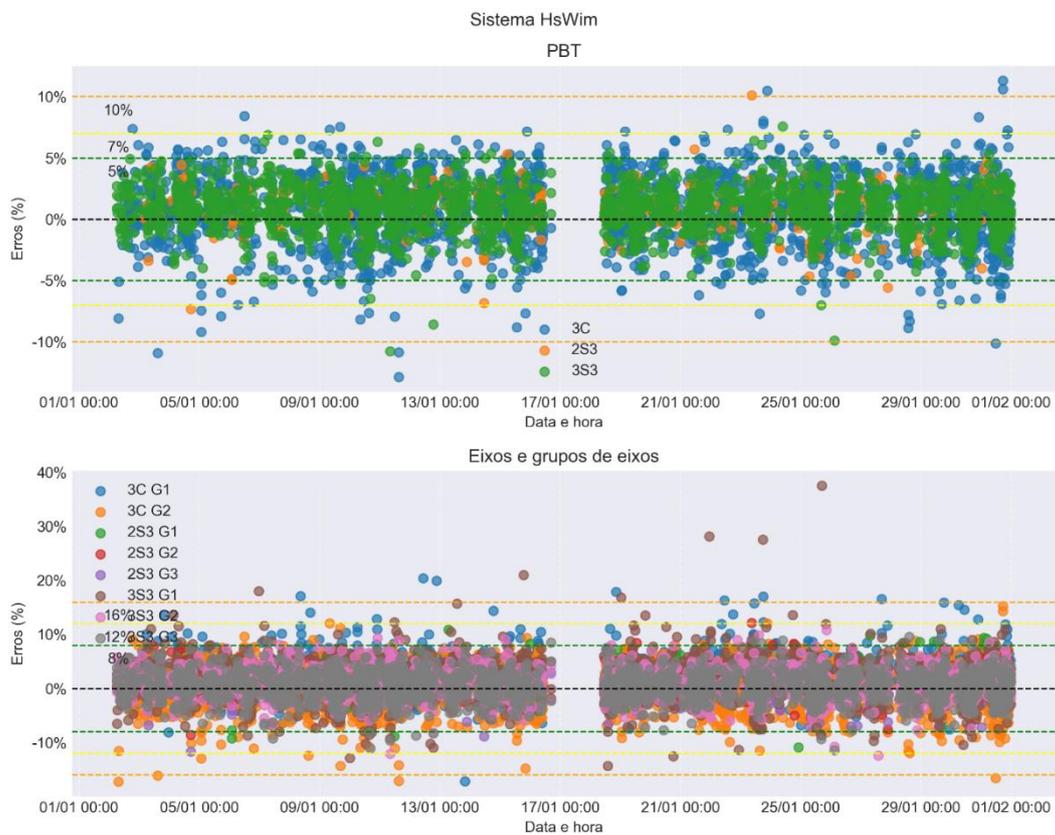
Figura 18 – Dispersão de erros em função da velocidade para o sistema HS-WIM



Fonte: FAPEU (2024)

Na Figura 19, são mostrados os gráficos de dispersão de erros em função do horário da coleta aplicados para o sistema.

Figura 19 – Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema HS-WIM



Fonte: FAPEU (2024)

## 5. Análise dos Resultados dos Sistemas

Com base nos resultados apresentados no capítulo anterior, realiza-se uma análise do desempenho do sistema *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) na pesagem de veículos pesados em alta velocidade, retomando o objetivo do presente projeto de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT), que está diretamente relacionado à promoção da fiscalização direta de peso no Brasil com equipamentos HS-WIM. Para esta finalidade, questiona-se a adequação dos sistemas HS-WIM a sua utilização na fiscalização direta, por meio da verificação dos erros apresentados em seus resultados. Ressalta-se que, embora seja um aspecto importante neste processo, não será investigado de forma compreensiva o aspecto metrológico associado à aprovação e ao uso dos equipamentos para esta finalidade.

Com o objetivo de fornecer uma visão geral dos resultados obtidos para o sistema testado, com base nos detalhes apresentados no capítulo anterior, é apresentado um resumo das apurações no Quadro 4. Além disso, é fornecido, no Quadro 5, uma síntese das classificações obtidas nas três metodologias de avaliação adotadas e, por fim, é feita uma breve conclusão acerca dos resultados observados neste estudo.

Quadro 4 – Resumo dos resultados obtidos no sistema HS-WIM

| Classe | Estatística | PBT     | Grupos de eixo |       |       | Eixos   |         |         |         |         |         |
|--------|-------------|---------|----------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        |             |         | G1             | G2    | G3    | E1      | E2      | E3      | E4      | E5      | E6      |
| 3C     | Contagem    | 2337    | 2337           | 2337  | -     | 2337    | 2337    | 2337    | -       | -       | -       |
|        | Média       | 0,84%   | 0,9%           | 3,1%  | -     | 2%      | 1,86%   | -1,36%  | -       | -       | -       |
|        | Desv. Pad.  | 2,76%   | 3,0%           | 3,7%  | -     | 3,1%    | 5,15%   | 6,22%   | -       | -       | -       |
|        | Mínimo      | -12,86% | -6,9%          | -8,6% | -     | -17,19% | -22,66% | -26,78% | -       | -       | -       |
|        | Máximo      | 11,31%  | 12,8%          | 8,0%  | -     | 20,4%   | 19,5%   | 53,35%  | -       | -       | -       |
| 2S3    | Contagem    | 289     | 289            | 289   | 289   | 289     | 289     | 289     | 289     | 289     | -       |
|        | Média       | 0,78%   | 3,7%           | 5,8%  | 3,3%  | 1,56%   | 1,71%   | 5,23%   | -0,65%  | -4,04%  | -       |
|        | Desv. Pad.  | 2,07%   | 2,5%           | 2,4%  | 2,2%  | 3,27%   | 2,84%   | 5,65%   | 4,59%   | 5,53%   | -       |
|        | Mínimo      | -7,32%  | -2,7%          | -1,0% | -1,7% | -10,91% | -8,55%  | -14,85% | -12,29% | -21,12% | -       |
|        | Máximo      | 10,14%  | 8,1%           | 9,7%  | 7,1%  | 10,9%   | 12,12%  | 26,27%  | 12,53%  | 15,46%  | -       |
| 3S3    | Contagem    | 2052    | 2052           | 2052  | 2052  | 2052    | 2052    | 2052    | 2052    | 2052    | 2052    |
|        | Média       | 0,80%   | 3,1%           | 2,4%  | 2,4%  | 1,62%   | 1,23%   | 0,97%   | 5,7%    | -0,32%  | -3,23%  |
|        | Desv. Pad.  | 1,80%   | 3,1%           | 2,4%  | 2,2%  | 3,58%   | 3,57%   | 4,16%   | 6,53%   | 4,43%   | 5,17%   |
|        | Mínimo      | -10,75% | -4,7%          | -2,6% | -3,6% | -14,3%  | -21,7%  | -45,19% | -46,25% | -17,74% | -24,15% |
|        | Máximo      | 7,58%   | 8,8%           | 8,2%  | 6,1%  | 37,55%  | 13,95%  | 45,71%  | 59,22%  | 18,48%  | 18,9%   |

Fonte: FAPEU (2024)

Quadro 5 – Classes de desempenho atingidas pelo sistema HS-WIM

| Metodologia   | Aferição                          | Classes de desempenho<br>(classe atingida em destaque) |              |       |       |          |           |
|---|-----------------------------------|--|--------------|-------|-------|----------|-----------|
|   |                                   | A(5)   | <b>B+(7)</b> | B(10) | C(15) | D+(20)   | D(25)     |
| COST 323  | PBT                               | A(5)   | <b>B+(7)</b> | B(10) | C(15) | D+(20)   | D(25)     |
|   | Grupos de eixos                   | <b>A(5)</b>  | B+(7)        | B(10) | C(15) | D+(20)   | D(25)     |
|   | Eixos isolados                    | A(5)   | <b>B+(7)</b> | B(10) | C(15) | D+(20)   | D(25)     |
|   | Eixos de um grupo                 | A(5)   | <b>B+(7)</b> | B(10) | C(15) | D+(20)   | D(25)     |
| OIML R 134-1  | PBT                               | 0.2  | 0.5          | 1     | 2     | 5        | <b>10</b> |
|   | Eixos isolados ou grupos de eixos | A  | B            | C     | D     | E        | <b>F</b>  |
| Portaria INMETRO<br>nº 019/2022<br>(supervisão metrológica) | PBT                               | 1  |              | 2     |       | <b>3</b> |           |
|   | Eixos isolados ou grupos de eixos | A  |              | B     |       | <b>C</b> |           |

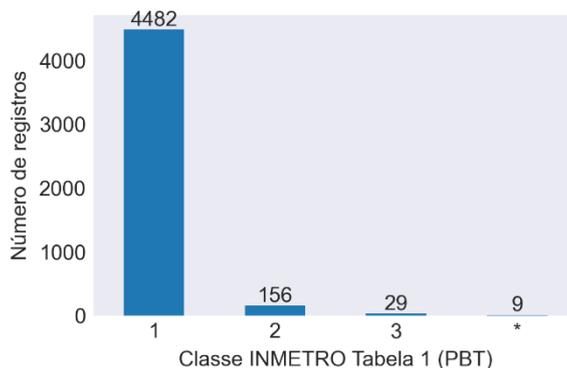
Fonte: FAPEU (2024)

### 5.1. Discussão dos resultados

Com base nos resultados apresentados até o momento, observa-se que o sistema comercial HS-WIM, instalado no sítio de pesquisas de Araranguá/SC, demonstra um desempenho satisfatório na aferição dos pesos dos veículos em alta velocidade. Para a medição do Peso Bruto Total (PBT), o sistema analisado apresentou um erro máximo de 11,31%. Quanto aos eixos isolados ou grupos de eixos, o sistema HS-WIM apresentou erros inferiores a 59,22%. Com isso, pode-se afirmar que, no que se refere a eixos isolados, o erro aumenta em relação ao erro do peso do veículo como um todo.

Em um cenário de supervisão metrológica, de acordo com o regulamento técnico do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), o sistema HS-WIM estaria mais próximo da aprovação para a classe 3C. Porém, 0,19% dos dados ficaram fora desta classificação de PBT e 96% da amostra alcançou a classificação 1, como é apresentado na Figura 20 – Número de registros do HS-WIM em cada classe do INMETRO. O primeiro algarismo refere-se ao erro máximo do PBT, sendo  $\pm 7\%$  e  $\pm 6\%$  para a classe 2, respectivamente. As siglas “C” indicam os erros máximos para eixos isolados ou grupos de eixos, sendo  $\pm 13\%$  e  $\pm 14\%$ .

Figura 20 – Número de registros do HS-WIM em cada classe do INMETRO



Fonte: FAPEU (2024)

A classificação dos sistemas de pesagem em movimento, de acordo com o método da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), segue uma abordagem semelhante à metodologia implementada pelo INMETRO, e caracteriza os sistemas com base no PBT e nos eixos isolados ou em grupos de eixos.

O resultado obtido para o sistema HS-WIM, para maior parte dos dados, foram os seguintes:

- Sistema HS-WIM: Classificação 10 para PBT e F para eixos isolados, quando avaliado por inspeção em serviço.

O primeiro algarismo da classificação refere-se ao erro máximo do PBT, com o número apresentado representando o erro percentual máximo (por exemplo, “5” corresponde a  $\pm 5\%$ ). A letra “F” na classificação está associada a um erro máximo de  $\pm 16\%$  para eixos isolados ou grupos de eixos.

Seguindo a especificação da *European Cooperation in Science and Technology* (COST), o sistema foi classificado da seguinte forma:

- Sistema HS-WIM: Classe B+(7)

É importante destacar que a COST não diferencia entre classificação para aprovação inicial ou supervisão metrológica e não considera a classe mais baixa obtida em um dos parâmetros de análise. O critério da COST é o mais rigoroso dentre os métodos, pois utiliza a pesagem de um único eixo como parâmetro para classificação. No contexto da fiscalização de peso no Brasil, são considerados tanto o PBT quanto os eixos isolados ou em grupos de eixos para o cálculo das penalidades. Caso a COST adotasse um critério semelhante ao da OIML e ao do INMETRO, os sistemas poderiam ser classificados em classes superiores. Por fim, vale ressaltar que a metodologia da COST é a mais antiga dentre as utilizadas nessa análise, tendo sido publicada em 1999.



## 6. Considerações Finais

Este documento tem como objetivo realizar a avaliação do desempenho dos sistemas *High-Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM) instalados no sítio de pesquisa de Araranguá/SC. Para coletar os dados, utilizamos veículos da frota local, cujo peso é aferido em balança certificada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). A avaliação cumpriu os objetivos da atividade, apresentando resultados de desempenho do sistema, incluindo erros de pesagem, verificação do peso bruto total, peso por grupo de eixos isolados e grupos de eixos. Além disso, o sistema foi avaliado com base nos critérios de classificação do INMETRO, da *European Cooperation in Science and Technology* (COST) e da Organização Internacional de Metrologia Legal (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*, OIML). Este trabalho estava previsto na Ação 5 do plano de trabalho de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) que visa modernizar a fiscalização e a monitoração rodoviária com equipamentos de pesagem em alta velocidade, utilizando o sítio de pesquisas instalado em Araranguá/SC.

Com a análise do sistema instalado no sítio de pesagem em movimento de Araranguá/SC, foram coletados dados sobre o desempenho desse sistema. O resultado mais significativo desse estudo foi obtido com base nos limites estabelecidos pelo regulamento aprovado pela Portaria nº 19/2022 (INMETRO, 2022), que considera os parâmetros para a supervisão metrológica de sistemas de pesagem em movimento para fiscalização direta de peso.

Sob condições mais rigorosas que os testes do INMETRO, o sistema comercial demonstrou desempenho aceitável, podendo receber a classificações de 3C, conforme avaliados pelos parâmetros de supervisão metrológica. Além disso, também foi apresentada a classificação do sistema com base nos padrões internacionais OIML e COST 323.

A última calibração realizada nos sistemas HS-WIM comerciais, instalados no sítio de pesquisa de Araranguá/SC, foi realizada em dezembro de 2023 e, logo em seguida, foi realizada uma coleta de dados para análise e elaboração do Produto 6 (II).

Nas próximas etapas do projeto, será dada continuidade à coleta de dados com os veículos da frota, com o objetivo de compará-los à balança de referência existente no Posto de Pesagem Veicular (PPV) de Araranguá/SC, localizado próximo aos 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 Produto 7 (II).



## REFERÊNCIAS

ANDERSON. Beijamim. **Critério chaugenet**: definição e exemplo. Statorials. 27 jul. 2023. Disponível em: <https://statorials.org/pt/criterio-de-redes-carecas>. Acesso em: 02 abr. 2024.

COST. **COST 323 – Weigh-in-Motion of Road Vehicles European WIM Specification**: Final report. Appendix I. EUA: Cost Project, 1999, 83p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Norma de verificação de instrumentos automáticos de pesagem de veículos rodoviários**: NIT-SEMAS-002. Rio de Janeiro: INMETRO, 2017. 18 p. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/pesquisa\\_link.asp?seq\\_tipo\\_documento=4&cod\\_uo\\_numeroacao=00874&num\\_documento=002](http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/pesquisa_link.asp?seq_tipo_documento=4&cod_uo_numeroacao=00874&num_documento=002). Acesso em: 02 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria nº 19, de 12 de janeiro de 2022**. Aprova o Regulamento Técnico Metrológico consolidado para instrumentos de pesagem automáticos de veículos rodoviários em movimento. Rio de Janeiro: INMETRO, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-19-de-12-de-janeiro-de-2022-375564556>. Acesso em: 02 abr. 2024.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE. **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.]: OIML, 2006, 81p. Disponível em: [https://www.oiml.org/en/files/pdf\\_r/r134-1-e06.pdf](https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r134-1-e06.pdf). Acesso em: 02 abr. 2024.





**CCR** *ViaCosteira*

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