



Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos de Peso Conhecido (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 de Peso Conhecido (I)

Julho de 2023



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, 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 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	Estrutura em PCCA	16
Figura 5	Sistemas S2 e S3 instalados na pista de PCCA.....	16
Figura 6	Sistema S1 <i>in loco</i>	17
Figura 7	Estrutura do sistema S1.....	18
Figura 8	Estrutura do sistema S2.....	18
Figura 9	Imagem aérea do sistema S2	19
Figura 10	Estrutura do sistema S3.....	19
Figura 11	Imagem aérea do sistema S3	20
Figura 12	Localizações dos pontos de pesagem e do sítio de pesquisas de Araranguá/SC.....	22
Figura 13	Classes selecionadas para a coleta de dados nos sistemas de Araranguá/SC.....	23
Figura 14	Carregamento limite das classes selecionadas para coleta de dados	23
Figura 15	Trajeto para pesagem de referência com veículos conhecidos.....	24
Figura 16	Posições de passagem dos caminhões nos sensores	26
Figura 17	Trajeto para as passadas pelos sistemas HS-WIM em Araranguá/SC.....	27
Figura 18	Ficha de acompanhamento da coleta de dados com veículos conhecidos	28
Figura 19	Veículos 3S3, 2S3 e 3C utilizados para a coleta de dados em fevereiro de 2023.....	33
Figura 20	Balança da plataforma Bendo Alimentos, em Ermo/SC.....	34
Figura 21	Exemplo do registro de dados coletados pelos sistemas comerciais	37
Figura 22	Exemplo do registro de dados detalhados para um determinado evento	38
Figura 23	Distribuição dos erros percentuais observados no sistema S1.....	54
Figura 24	Distribuição dos erros percentuais observados no sistema S2.....	55

Figura 25	Distribuição dos erros percentuais observados no sistema S3.....	56
Figura 26	Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema S1.....	57
Figura 27	Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema S2.....	58
Figura 28	Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema S3.....	59
Figura 29	Limites estabelecidos na recomendação OIML R 134-1 para o PBT.....	60
Figura 30	Limites estabelecidos na recomendação OIML R 134-1 para eixos e grupos de eixos.....	61
Figura 31	Limites do regulamento estabelecido pela Portaria Inmetro nº 019/2022 para o PBT.....	61
Figura 32	Limites do regulamento estabelecido pela Portaria Inmetro nº 019/2022 para eixos e grupos de eixos	62
Figura 33	Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema S1.....	63
Figura 34	Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema S2.....	64
Figura 35	Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema S3.....	65
Figura 36	Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema S1.....	66
Figura 37	Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema S2.....	66
Figura 38	Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema S3.....	66
Figura 39	Dispersão de erros em função da velocidade para o sistema S1.....	67
Figura 40	Dispersão de erros em função da velocidade para o sistema S2.....	67
Figura 41	Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema S1	68
Figura 42	Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema S2	69
Figura 43	Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema S3	70

Lista de Quadros

Quadro 1	Programação do primeiro dia de coleta de dados com veículos conhecidos.....	29
Quadro 2	Programação do segundo dia de coleta de dados com veículos conhecidos.....	30
Quadro 3	Programação do terceiro dia de coleta de dados com veículos conhecidos.....	31
Quadro 4	Programação do quarto dia de coleta de dados com veículos conhecidos.....	32
Quadro 5	Resultados da pesagem estática na balança de plataforma.....	34
Quadro 6	Resultados da pesagem na balança de Terra de Areia/RS do PPV em fevereiro de 2023	35
Quadro 7	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3C do Sistema S1	39
Quadro 8	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 2S3 do Sistema S1	40
Quadro 9	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3S3 do Sistema S1	41
Quadro 10	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3C do Sistema S2	42
Quadro 11	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 2S3 do Sistema S2	43
Quadro 12	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3S3 do Sistema S2	44
Quadro 13	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3C do Sistema S3	45
Quadro 14	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 2S3 do Sistema S3	46
Quadro 15	Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3S3 do Sistema S3	48
Quadro 16	Pesos de referência adotados para o cálculo dos erros.....	53
Quadro 17	Resumo dos resultados obtidos no sistema S1	71
Quadro 18	Resumo dos resultados obtidos no sistema S2	72
Quadro 19	Resumo dos resultados obtidos no sistema S3	72
Quadro 20	Classes de desempenho atingidas pelo sistema S1	73
Quadro 21	Classes de desempenho atingidas pelo sistema S2	73
Quadro 22	Classes de desempenho atingidas pelo sistema S3	74

Sumário

1. Introdução	9
2. Sítio de Pesquisas de Pesagem em Movimento.....	13
2.1. Apresentação da infraestrutura existente.....	14
2.1.1. Pista Experimental: PCBE.....	15
2.1.2. Pista Experimental: PCCA	15
2.2. Apresentação dos sistemas.....	16
2.2.1. Sistema S1.....	17
2.2.2. Sistema S2.....	18
2.2.3. Sistema S3.....	19
3. Procedimentos de Coleta de Dados para a Análise do Desempenho dos Sistemas	21
4. Registro dos Dados	37
4.1. Sistema S1	38
4.2. Sistema S2	42
4.3. Sistema S3	45
5. Análise de Desempenho dos Sistemas	51
5.1. Definição dos pesos de referência	52
5.2. Erros observados nas amostras	53
5.3. Verificação de desempenho em função dos documentos de referência	60
5.3.1. Verificação estatística com a metodologia COST 323	66
5.4. Análise exploratória	66
6. Análise dos Resultados dos Sistemas	71
6.1. Discussão dos resultados	74
7. Considerações Finais	77
REFERÊNCIAS.....	79

1. Introdução

A tecnologia de Pesagem em Movimento (WIM) tem evoluído significativamente e apresenta-se como uma ferramenta promissora para o monitoramento e fiscalização do excesso de carga em rodovias. No Brasil, os fornecedores e fabricantes estão trabalhando para a homologação dos equipamentos junto ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Apesar dos avanços, ainda existem desafios a serem superados para iniciar a fiscalização do excesso de carga apenas com base no modelo HS-WIM. O principal desafio reside na operação do processo de fiscalização, como orientar os condutores sobre o excesso de carga, quais procedimentos administrativos adotar (transbordo e remanejamento), como proceder após a identificação do excesso e como verificar se o problema foi corrigido.

Por outro lado, as tecnologias HS-WIM já estão prontas para coletar as informações necessárias para embasar autuações por excesso de carga. O presente documento explora os métodos de teste dos sistemas HS-WIM e como o desempenho desses sistemas é avaliado. Os testes de desempenho em sistemas de pesagem em movimento são essenciais para garantir a precisão, calibração e eficiência dos sistemas HS-WIM. Além disso, auxiliam na identificação de possíveis problemas e oportunidades de melhoria, contribuindo para o funcionamento adequado e confiável do sistema de pesagem ao longo do tempo. Acompanhar o desempenho dos sistemas de pesagem ao longo de sua vida útil traz uma série de benefícios importantes, incluindo segurança, cumprimento de regulamentações, eficiência operacional, manutenção preventiva e controle do excesso de carga.

Ao acompanhar o 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 disso, possibilita 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 de Peso Conhecido (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, conforme o plano de trabalho. Tem como objetivo apresentar os resultados de desempenho dos sistemas

de pesagem em movimento instalados no sítio de pesquisa, utilizando como referência os veículos com peso bruto total, peso por eixo e grupos de eixos conhecidos.

Os testes consistem em passar veículos conhecidos diversas vezes em diferentes velocidades e posições laterais. As informações coletadas pelos sistemas de aquisição de dados processam, armazenam e transmitem as informações para a base de dados do projeto. Os testes com veículos conhecidos permitem verificar o desempenho dos sistemas instalados frente aos requisitos legais estabelecidos para os instrumentos de fiscalização, além de fornecer informações complementares do comportamento dos sistemas em diferentes condições de velocidade, posição lateral e temperatura.

Para a realização da coleta de dados proposta, são utilizados três caminhões das classes mais representativas do tráfego local. Em estudos anteriores, foram utilizados caminhões das classes 3C, 2S3 e 3S3, conforme a classificação do Quadro de Fabricantes de Veículos (QFV) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Os veículos são carregados próximos ao limite estabelecido para cada uma das classes. O material usado para carga é obtido por meio de parcerias para empréstimo, garantindo a devolução após a realização dos testes.

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 (OIML) e pelo procedimento estabelecido na especificação de referência COST 323 (COST Project, 1999).

O documento em questão apresenta uma estrutura organizada para abordar os aspectos relacionados ao sítio de pesquisas de pesagem em movimento, os sistemas utilizados, os procedimentos de coleta de dados, o registro dos dados coletados e a análise de desempenho desses sistemas.

O Capítulo 2 apresenta detalhes sobre o sítio de pesquisas de pesagem em movimento, incluindo uma descrição da infraestrutura existente. Isso envolve a apresentação das pistas experimentais, com informações específicas sobre o Pavimento de Concreto Betuminoso Espesso (PCBE) e o Pavimento de Concreto Continuamente Armado (PCCA). Posteriormente, são descritos os sistemas utilizados na pesquisa, incluindo detalhes sobre os sistemas S1, S2 e S3. Cada sistema é apresentado separadamente, fornecendo informações relevantes sobre suas características e funcionalidades.

No Capítulo 3, os procedimentos de coleta de dados para a análise do desempenho dos sistemas são explicados em detalhes. Essa seção aborda os métodos utilizados para coletar os dados necessários para avaliar o desempenho dos sistemas de pesagem em movimento.

No Capítulo 4, são fornecidos detalhes específicos sobre como os dados foram registrados para cada sistema. As subseções correspondentes aos sistemas S1, S2 e S3 apresentam informações relevantes sobre o processo de registro dos dados em cada caso.

No Capítulo 5, 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 realizada a verificação de desempenho em função dos documentos de referência.

O Capítulo 6, de forma sucinta, apresentada uma análise geral e a discussão dos resultados. E por fim, no Capítulo 7, são prestadas as considerações finais.

2. Sítio de Pesquisas de Pesagem em Movimento

O presente projeto contempla a utilização de um sítio de pesquisas de tecnologias de pesagem em movimento no município de Araranguá/SC, alocado entre os quilômetros 415 e 418 da rodovia BR-101 (sentido sul), representado na Figura 1, onde são realizados os estudos e pesquisas aplicadas visando a modernização da fiscalização e a monitoração rodoviária com equipamentos de pesagem em alta velocidade. Desde 2007, são realizadas pesquisas para o desenvolvimento tecnológico de sistemas de pesagem no sítio de Araranguá/SC. Estes estudos ocorreram 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 destes projetos. No decorrer dos anos de pesquisa, foram implantados sistemas *High Speed Weigh in Motion* (HS-WIM) de diversas empresas, nacionais e internacionais, no sítio supracitado, no qual foram executados trechos projetados especialmente para o suporte desses sistemas.

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



Fonte: FAPEU (2023)

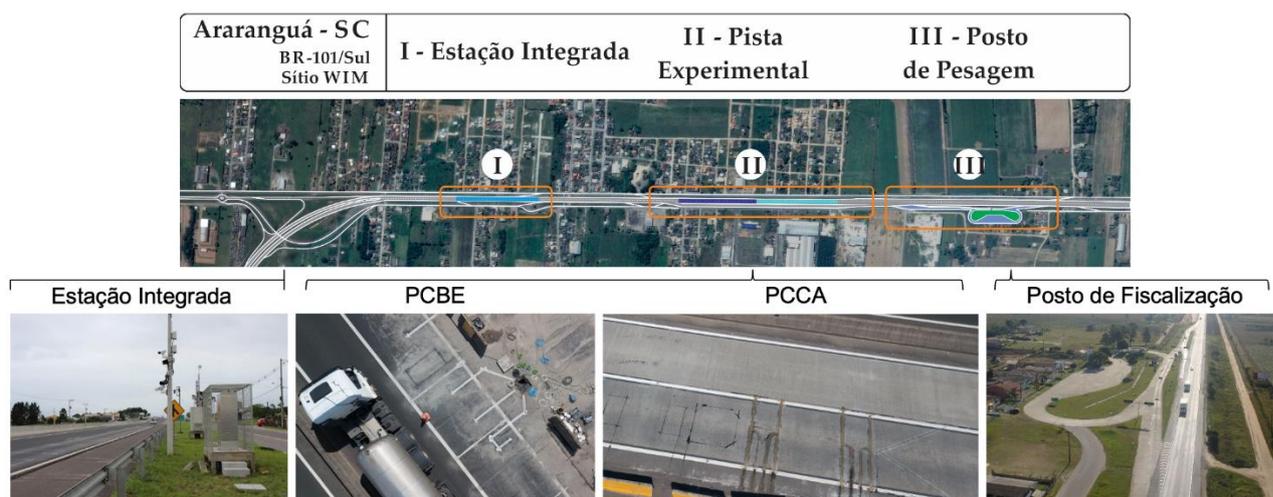
2.1. Apresentação da infraestrutura existente

Os projetos realizados em Araranguá/SC, anteriormente à concessão do trecho, incluíram 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 se encontram 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 à montante 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, 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



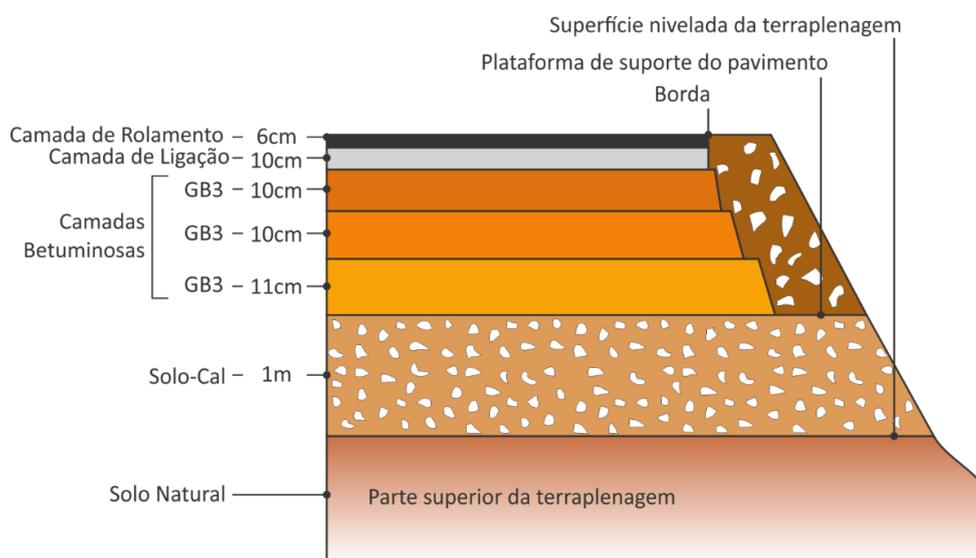
Fonte: FAPEU (2023)

Os tópicos seguintes discorrem sobre os trechos que compõem a Pista Experimental, suas particularidades e os sistemas que contêm.

2.1.1. Pista Experimental: PCBE

O trecho composto por PCBE foi dimensionado segundo a metodologia francesa, ilustrada na Figura 3, visando a 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 e 47 centímetros de espessura de concreto asfáltico, com 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 Project, 1999), estabelecida para os sistemas HS-WIM.

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

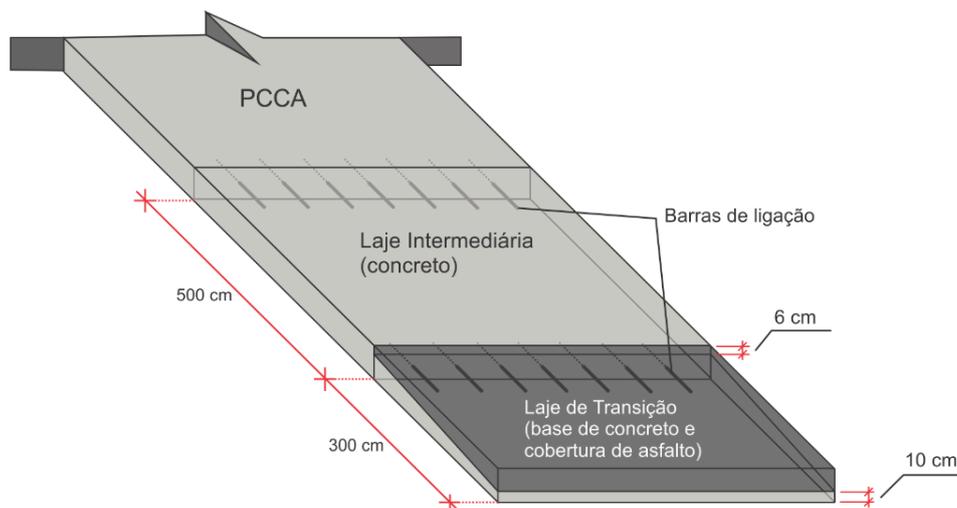


Fonte: FAPEU (2023)

2.1.2. Pista Experimental: PCCA

Neste trecho, foi implementado o PCCA, ilustrado na Figura 4. Este tipo de pavimento é caracterizado pela presença de uma alta taxa de armadura longitudinal, localizada na parte superior da placa, propiciando uma placa de concreto sem juntas de dilatação. No pavimento de concreto simples, é observada uma indução da fissuração, fenômeno que não ocorre no PCCA, em que as fissuras ocorrem de maneira aleatória, mas são contidas pela armadura longitudinal, garantindo, assim, uma estrutura de alta durabilidade, demandando baixa frequência de manutenção.

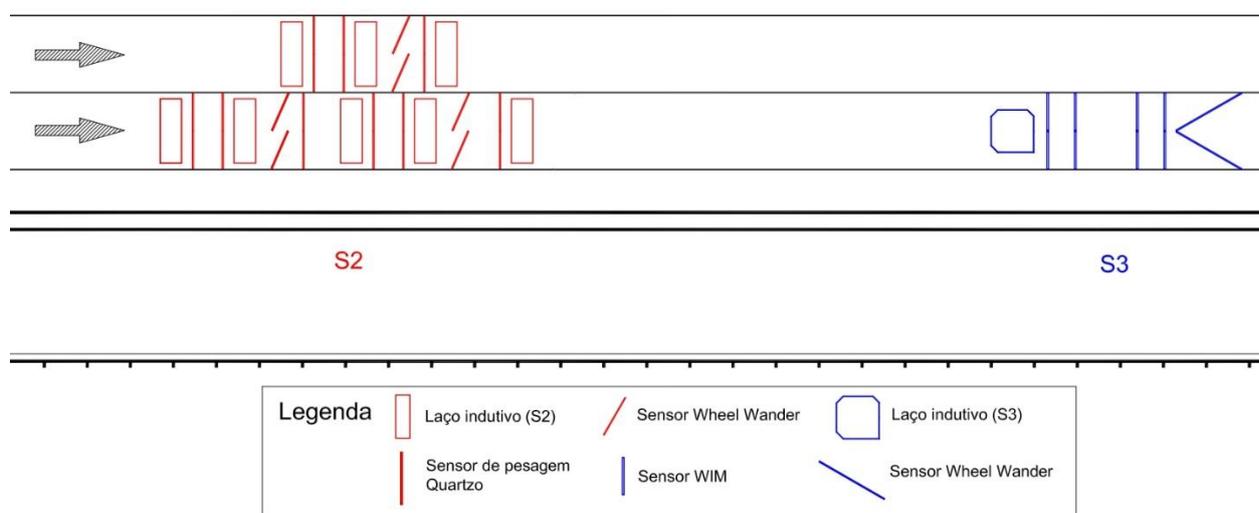
Figura 4 – Estrutura em PCCA



Fonte: FAPEU (2023)

A Figura 5 apresenta os sistemas localizados no trecho em PCCA, bem como as tecnologias HS-WIM que compõem cada um deles.

Figura 5 – Sistemas S2 e S3 instalados na pista de PCCA



Fonte: FAPEU (2023)

2.2. Apresentação dos sistemas

Conforme mencionado 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. No presente

produto, serão abordados exclusivamente os sistemas comerciais S1, S2 e S3, bem como seus respectivos desempenhos.

2.2.1. Sistema S1

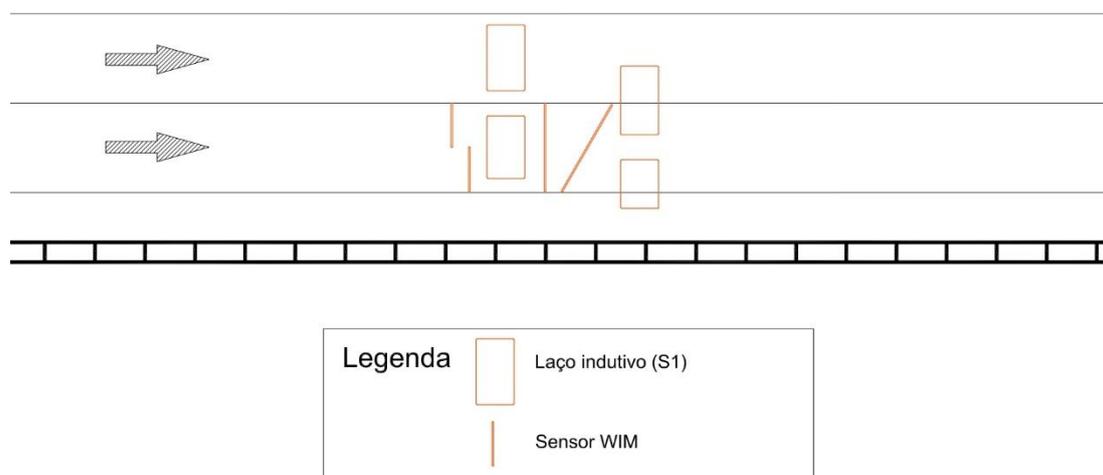
O sistema S1, alocado no trecho em PCBE do sítio de pesquisas, exposto na Figura 6, é composto por laços indutivos e sensores HS-WIM, dispostos de acordo com a Figura 7. Trata-se do sistema mais recente a ser instalado no sítio de pesquisas, em novembro de 2022.

Figura 6 – Sistema S1 *in loco*



Fonte: FAPEU (2023)

Figura 7 – Estrutura do sistema S1

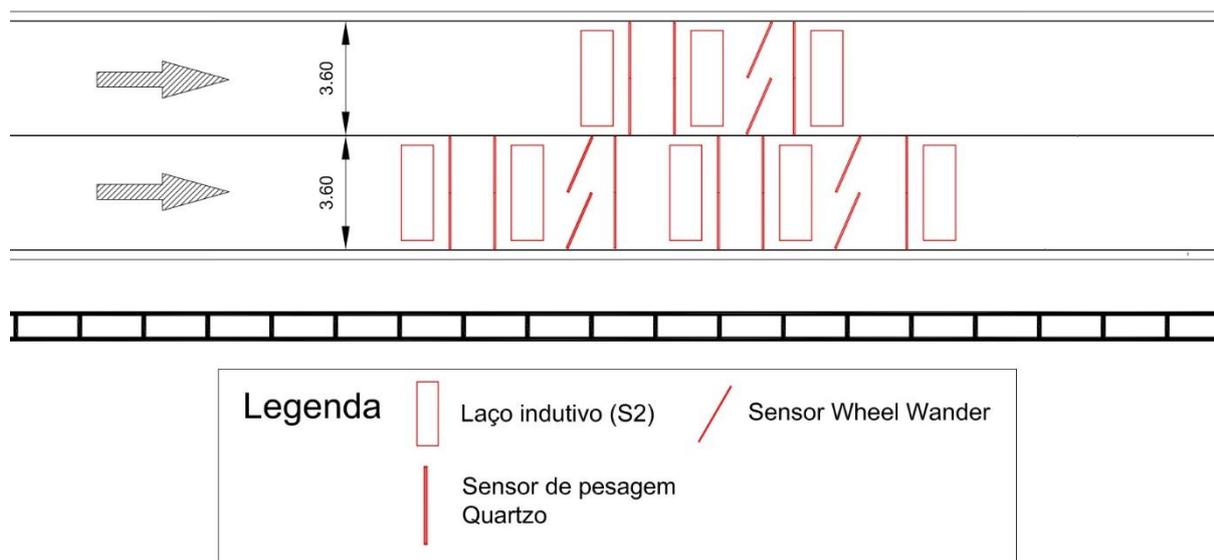


Fonte: FAPEU (2023)

2.2.2. Sistema S2

O sistema S2 é composto por laços indutivos e sensores de quartzo, conforme demonstrado pela Figura 8. Sua instalação no sítio de pesquisas ocorreu em julho de 2017, estando em operação há seis anos.

Figura 8 – Estrutura do sistema S2



Fonte: FAPEU (2023)

A Figura 9 exibe uma imagem aérea do sistema S2, na qual é possível visualizar as tecnologias que compõem o sistema referido.

Figura 9 – Imagem aérea do sistema S2

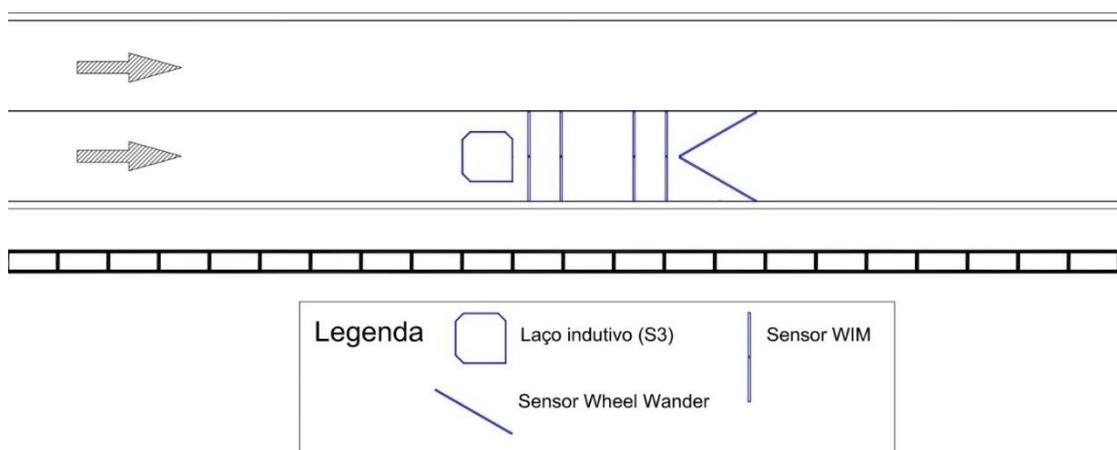


Fonte: FAPEU (2023)

2.2.3. Sistema S3

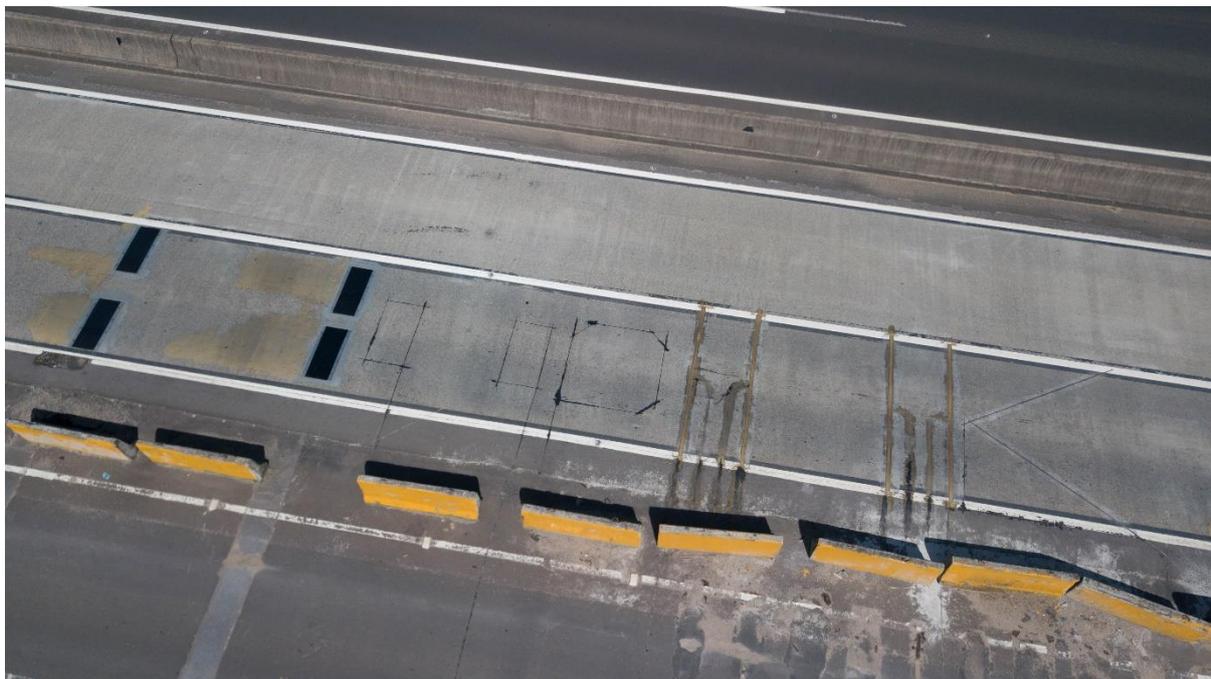
O sistema S3, apresentado na Figura 10 e na Figura 11, é composto por laços indutivos, sensores HS-WIM e sensores *Wheel Wander*. Instalado em novembro de 2018, o sistema está operando há quase cinco anos.

Figura 10 – Estrutura do sistema S3



Fonte: FAPEU (2023)

Figura 11 – Imagem aérea do sistema S3



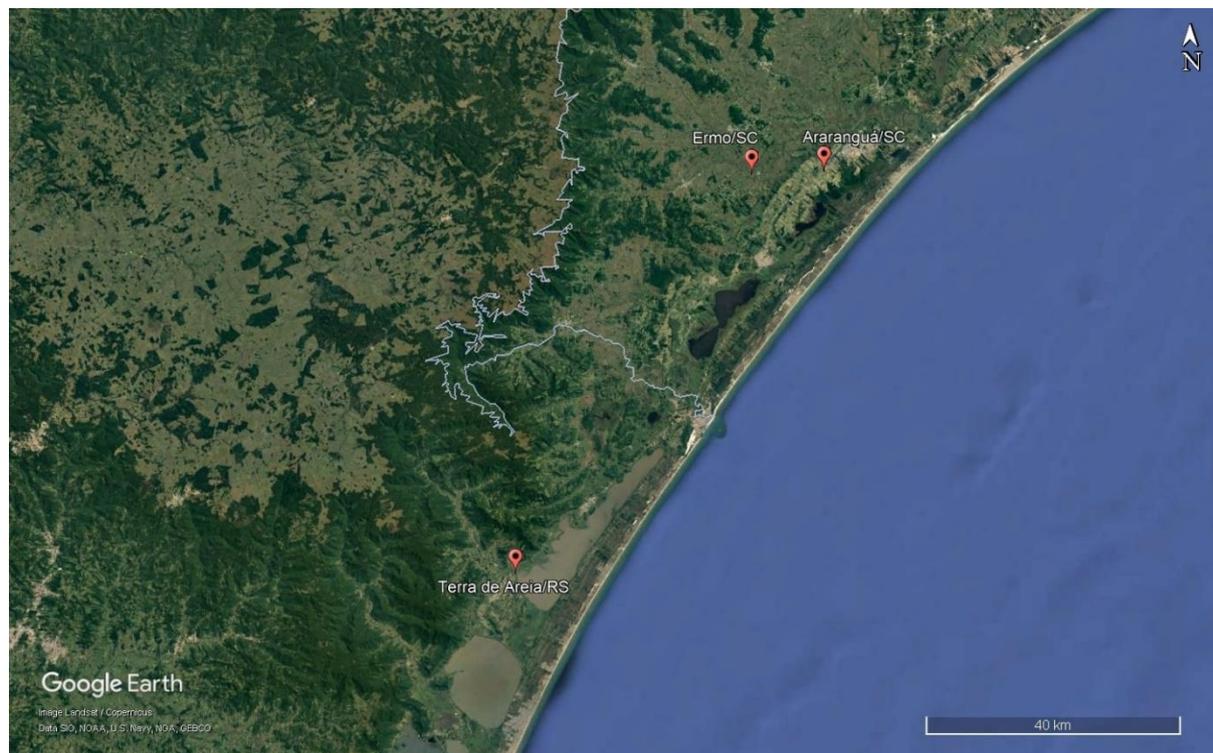
Fonte: FAPEU (2023)

3. Procedimentos de Coleta de Dados para a Análise do Desempenho dos Sistemas

Para que sejam realizadas as análises necessárias para a validação dos sistemas *High Speed Weight-in-Motion* (HS-WIM), estando esses localizados, instalados e dispostos conforme especificado anteriormente, faz-se necessária a realização da coleta de dados dos sistemas. As coletas são imprescindíveis para a calibração dos sistemas, bem como para a avaliação de seus resultados. Na etapa da calibração, são utilizados valores de referência (sejam valores médios da frota de veículos passantes ou valores conhecidos) para obter o Coeficiente de Calibração (CC) dos equipamentos. Já na etapa de avaliação dos sistemas, os valores de referência são comparados aos resultados obtidos, como forma de verificação da precisão desses.

Os pesos de referência foram obtidos a partir da relação entre a pesagem estática, obtida na balança da empresa Bendo Alimentos, localizada em Ermo/SC, município vizinho a Araranguá/SC, e a pesagem de referência dos veículos conhecidos, realizada no posto de fiscalização da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), localizado em Terra de Areia/RS, no quilômetro 41 da BR-101 – sentido sul. A Figura 12 mostra as localizações dos municípios citados.

Figura 12 – Localizações dos pontos de pesagem e do sítio de pesquisas de Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2023)

Na coleta de dados de veículos conhecidos, foram fretados caminhões com as configurações que representam as principais classes do fluxo local: 3C, 2S3 e 3S3. Esses caminhões foram carregados com materiais sólidos, cuja massa apresentasse pouca variação com as condições climáticas, como a umidade do ar. O peso do carregamento foi previamente definido, próximo do Peso Bruto Total (PBT) máximo permitido para cada classe, e devidamente distribuído entre os eixos. Uma vez carregados e acompanhados por uma equipe técnica da pesquisa, os veículos passaram por uma série de eventos controlados. Nesses, foram realizadas dezenas de passagens com velocidade e aceleração controladas e em posições da pista sobre os sistemas HS-WIM instalados.

Os itens que seguem apresentam os eventos realizados para coleta de dados de pesagem, incluindo o procedimento realizado, as datas das coletas, bem como os totais de registros obtidos em cada evento.

3.1. Coletas com veículos de referência

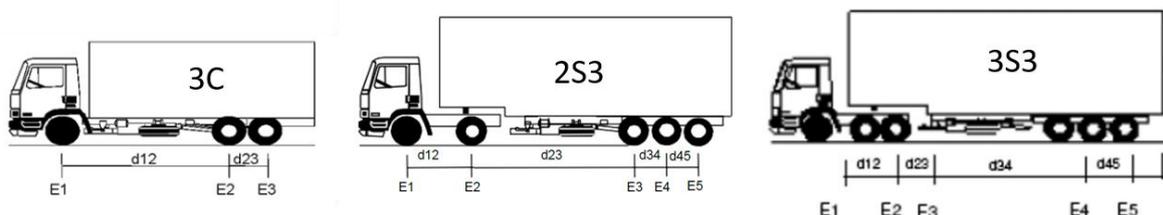
A coleta de dados com veículos de referência, conforme mencionado anteriormente, possibilita um maior controle e repetibilidade das condições que os veículos passam sobre os sistemas HS-WIM. Estes eventos são realizados em períodos pré-definidos, tendo em vista a necessidade da contratação de caminhões e de acompanhamento por parte da equipe técnica

em campo. Os testes também possuem uma programação de passadas pré-determinada, de forma a garantir que o número de passadas e as condições sejam atendidas para a coleta de dados.

3.1.1. Procedimento

Primeiramente, são selecionados os veículos utilizados como referência. Esses veículos devem ser selecionados de forma a representar a maior parte dos caminhões que passam pelo local em circunstâncias reais, levando em consideração as classes e os tipos de eixos que as compõem. 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 13.

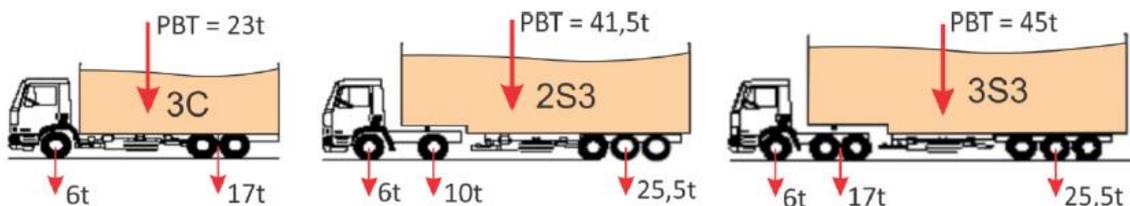
Figura 13 – Classes selecionadas para a coleta de dados nos sistemas de Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2023)

Para a calibração e avaliação dos sistemas HS-WIM, cada caminhão é carregado com seu peso de referência, respeitando o PBT limite para cada classe. No caso das classes selecionadas, portanto, o PBT (tara + lotação) resultante é de 23 toneladas para o caminhão de classe 3C, 41,5 toneladas para o caminhão de classe 2S3 e 45 toneladas para o de classe 3S3. Além disso, os pesos dos eixos também devem ser controlados, de modo que cada grupo fique com o peso resultante proporcional ao limite por grupo de eixo. A Figura 14 expõe os valores de PBT e os limites de peso por grupo de eixos carregados.

Figura 14 – Carregamento limite das classes selecionadas para coleta de dados



Fonte: FAPEU (2023)

Uma vez carregados os veículos, o próximo passo consiste em realizar pesagens de referência, para aferir o peso de acordo com a balança de precisão. Porém, por mais que a balança opere em baixa velocidade e apresente erros menores que os dos sistemas de alta velocidade, essa

também está sujeita a erros aleatórios. Por essa razão, as pesagens para coleta de pesos de referência são repetidas, no mínimo, três vezes por aferição. Esta pesagem de referência, portanto, é realizada dando voltas na pista interna do PPV, com velocidade controlada de 5 km/h, conforme esquematizado na Figura 15.

Figura 15 – Trajeto para pesagem de referência com veículos conhecidos



Fonte: FAPEU (2023)

Além das pesagens de referência, na balança do PPV, também são realizadas pesagens em balanças estáticas para a aferição e o controle dos pesos obtidos para referência. Essas balanças podem ser estáticas de plataforma ou o próprio equipamento do PPV, configurado para operação em modo estático. Também deve-se aferir as dimensões dos veículos, de modo a serem verificados outros parâmetros, por exemplo, a distância entre os eixos.

Uma vez carregados e tendo seus pesos de referência aferidos, os veículos passam a executar uma série de passagens sobre os sistemas HS-WIM. Essas passagens são pré-programadas e realizadas em condições controladas de velocidade e posição em pista.

Nesse sentido, os veículos realizam, no mínimo, o seguinte número de passadas sobre os sistemas:

- Dez passagens a 60 km/h à esquerda da pista.
- Dez passagens a 60 km/h no centro da pista.

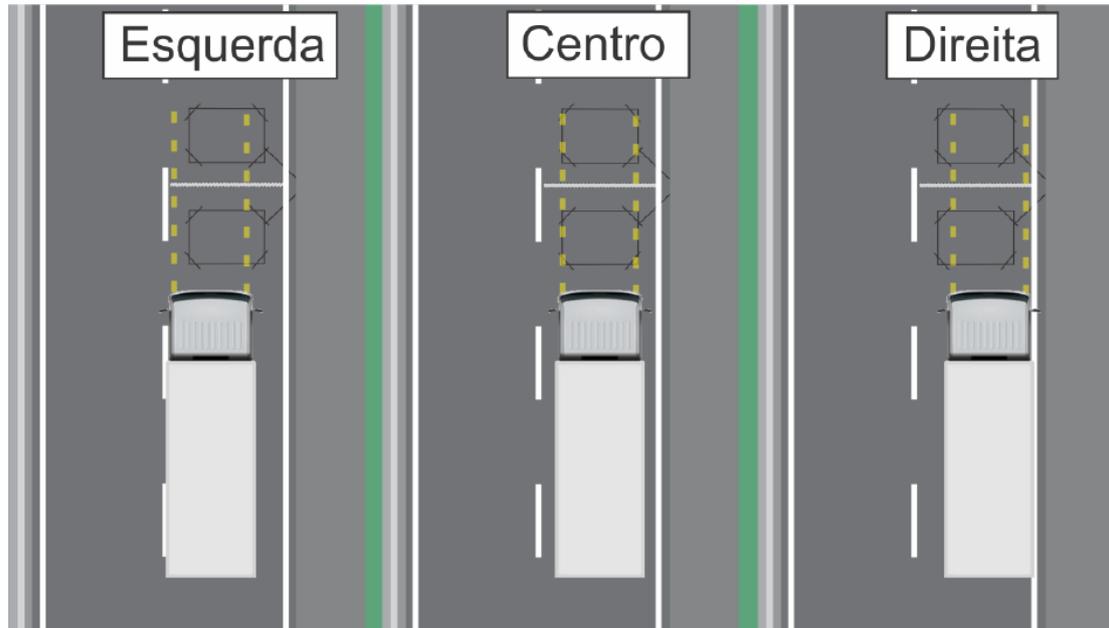
- Dez passagens a 60 km/h à direita da pista.
- Dez passagens a 70 km/h à esquerda da pista.
- Dez passagens a 70 km/h no centro da pista.
- Dez passagens a 70 km/h à direita da pista.
- Dez passagens a 80 km/h à esquerda da pista.
- Dez passagens a 80 km/h no centro da pista.
- Dez passagens a 80 km/h à direita da pista.

Em um cenário ideal, as passadas em cada condição são realizadas em sequência, de forma a manter as condições do sistema constantes e para que as passadas representem múltiplas aferições nas mesmas condições, possibilitando diferenciar erros aleatórios daqueles causados pelas variáveis do ambiente. No entanto, o tempo necessário para realizar as passadas (cada volta leva, em média, 14 minutos para ser completada), além da presença de outros veículos entre aqueles escolhidos para a coleta, fazem com que seja necessário, em alguns casos, dividir as passadas em determinadas condições em blocos distintos.

Outro detalhe a ser observado é a oscilação da posição do veículo dentro da pista. Isso porque a pista de tráfego possui largura maior do que a largura dos veículos, propiciando a variação significativa do local em que as rodas passam sobre o sistema. Essa variabilidade pode resultar em uma possível fonte de erro no sistema, caso exista algum problema nos próprios sensores, ou ainda, na sua instalação, alterando o resultado em relação à localização da passada das rodas. Por esse motivo, para a calibração e para a avaliação do sistema, são testadas as suas duas extremidades e a posição central, de forma a simular a variabilidade do tráfego.

A Figura 16 especifica as três posições laterais de teste: nas posições da esquerda e da direita, as rodas laterais do caminhão devem estar localizadas na extremidade da pista, porém sem passar sobre a faixa de sinalização; já na posição central, o caminhão deve andar centralizado na pista.

Figura 16 – Posições de passagem dos caminhões nos sensores



Fonte: FAPEU (2023)

Conforme supracitado, uma passada sobre o sistema leva, em média, 14 minutos para ser realizada. Esse tempo se deve à localização do sítio de pesquisas em uma rodovia duplicada e de grande fluxo, que possui acessos e retornos controlados, fazendo-se necessário que os veículos percorram uma determinada distância até encontrar dois retornos que permitam fazer a volta pelos sistemas HS-WIM – distância essa que deve ser suficiente para que os caminhões atinjam os sistemas com a velocidade e nas condições especificadas. O trajeto percorrido pelos veículos em Araranguá/SC encontra-se ilustrado na Figura 17, assim como as posições das estações HS-WIM.

Figura 17 – Trajeto para as passadas pelos sistemas HS-WIM em Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2023)

Tendo as condições de passada sobre os sensores especificados, faz-se necessário acompanhar e verificar se os caminhões estavam passando pelos sistemas nas condições corretas. Isso porque os condutores de caminhões não costumam dirigir com a sua posição lateral em pista controlada, podendo ocorrer erros nesse aspecto. Além disso, mesmo que os condutores trafeguem nas condições especificadas, a dinâmica do caminhão em trânsito e a interação com outros veículos da rodovia é algo que não se tem controle pleno, podendo afetar as condições de velocidade e posição lateral no momento da passada pelos sistemas, sobretudo tendo em vista que as passadas são realizadas com o fluxo usual da rodovia, devendo a segurança ser priorizada. Nesse sentido, o acompanhamento das passadas é essencial para que, no tratamento de dados, sejam tratados os registros nos quais houveram problemas no controle das condições.

O técnico responsável por realizar este acompanhamento deve estar localizado às margens da rodovia, nos pontos em que os sistemas estão instalados, sendo responsável por preencher uma ficha de acompanhamento, ilustrada na Figura 18.

Figura 18 – Ficha de acompanhamento da coleta de dados com veículos conhecidos

Ficha de observação de calibração dos sistemas HSWIM					
Observador:					
Data:		Classes:		Local:	
Velocidade:		Posição:		Carga:	
Volta	Hora da passagem	Posição OK?	Comboio?	Observações	
1	: :				
2	: :				
3	: :				
4	: :				
5	: :				
6	: :				
7	: :				
8	: :				
9	: :				
10	: :				

Fonte: FAPEU (2023)

Levando em consideração o tempo de cada passagem dos veículos sobre os sistemas HS-WIM, aliado ao fato de que são necessárias dezenas de passagens, dividiu-se a coleta em blocos de

cinco e dez passagens, dentre os quais realiza-se um intervalo de 30 minutos para que os condutores possam descansar, aspecto que favorece a segurança da operação.

Nesse sentido, foi elaborada uma programação de referência de quatro dias para a realização da coleta de dados. Para cada turno (matutino e vespertino), previu-se a realização de dois blocos de passadas, um com dez e outro com cinco, divididos por um intervalo. Ainda, no início e no final de cada turno, foram realizadas pesagens de referência para o acompanhamento dos pesos de referência. Além disso, cabe ressaltar que o primeiro turno do primeiro dia de coleta foi utilizado para instrução dos condutores sobre as passadas, as cargas, a pesagem de referência e o deslocamento dos caminhões, assim como o último turno do quarto dia, para repetições de blocos ou passadas que não saíram conforme o planejado, além do deslocamento, da pesagem de referência e da descarga dos caminhões.

As programações de referência para as passadas do primeiro, segundo, terceiro e quarto dia são expostas no Quadro 1, Quadro 2, Quadro 3 e Quadro 4, respectivamente.

Quadro 1 – Programação do primeiro dia de coleta de dados com veículos conhecidos

Turno	Atividade	Velocidade	Posição	Passagem	Volta	Duração	Horário estimado	
Vespertino	Calibração	70 km/h	Centro	1	1	00:14	13:00	
				2	2	00:14	13:14	
				3	3	00:14	13:28	
				4	4	00:14	13:42	
				5	5	00:14	13:56	
		50 km/h		6	1	00:14	14:10	
				7	2	00:14	14:24	
				8	3	00:14	14:38	
				9	4	00:14	14:52	
				10	5	00:14	15:06	
	Intervalo						00:30	15:20
	Calibração	90 km/h	Centro	11	1	00:14	15:50	
				12	2	00:14	16:04	
				13	3	00:14	16:18	
				14	4	00:14	16:32	
15				5	00:14	16:46		

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 2 – Programação do segundo dia de coleta de dados com veículos conhecidos

Turno	Atividade	Velocidade	Posição	Passagem	Volta	Duração	Horário estimado	
Matutino	Calibração	70 km/h	Esquerda	16	1	00:14	08:00	
				17	2	00:14	08:14	
				18	3	00:14	08:28	
				19	4	00:14	08:42	
				20	5	00:14	08:56	
		50 km/h		21	1	00:14	09:10	
				22	2	00:14	09:24	
				23	3	00:14	09:38	
				24	4	00:14	09:52	
				25	5	00:14	10:06	
	Intervalo						00:30	10:20
	Calibração	90 km/h	Esquerda	26	1	00:14	10:50	
				27	2	00:14	11:04	
				28	3	00:14	11:18	
				29	4	00:14	11:32	
30				5	00:14	11:46		
Intervalo de almoço								
Vespertino	Calibração	70 km/h	Direita	31	1	00:14	13:00	
				32	2	00:14	13:14	
				33	3	00:14	13:28	
				34	4	00:14	13:42	
				35	5	00:14	13:56	
		50 km/h		36	1	00:14	14:10	
				37	2	00:14	14:24	
				38	3	00:14	14:38	
				39	4	00:14	14:52	
				40	5	00:14	15:06	
	Intervalo						00:30	15:20
	Calibração	90 km/h	Direita	41	1	00:14	15:50	
				42	2	00:14	16:04	
				43	3	00:14	16:18	
				44	4	00:14	16:32	
45				5	00:14	16:46		

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 3 – Programação do terceiro dia de coleta de dados com veículos conhecidos

Turno	Atividade	Velocidade	Posição	Passagem	Volta	Duração	Horário estimado	
Matutino	Coleta de dados	70 km/h	Centro	46	1	00:14	08:00	
				47	2	00:14	08:14	
				48	3	00:14	08:28	
				49	4	00:14	08:42	
				50	5	00:14	08:56	
		50 km/h		51	1	00:14	09:10	
				52	2	00:14	09:24	
				53	3	00:14	09:38	
				54	4	00:14	09:52	
				55	5	00:14	10:06	
	Intervalo						00:30	10:20
	Coleta de dados	90 km/h	Centro	56	1	00:14	10:50	
				57	2	00:14	11:04	
				58	3	00:14	11:18	
				59	4	00:14	11:32	
60				5	00:14	11:46		
Intervalo de almoço								
Vespertino	Coleta de dados	70 km/h	Direita	61	1	00:14	13:00	
				62	2	00:14	13:14	
				63	3	00:14	13:28	
				64	4	00:14	13:42	
				65	5	00:14	13:56	
		50 km/h		66	1	00:14	14:10	
				67	2	00:14	14:24	
				68	3	00:14	14:38	
				69	4	00:14	14:52	
				70	5	00:14	15:06	
	Intervalo						00:30	15:20
	Coleta de dados	90 km/h	Direita	71	1	00:14	15:50	
				72	2	00:14	16:04	
				73	3	00:14	16:18	
				74	4	00:14	16:32	
75				5	00:14	16:46		

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 4 – Programação do quarto dia de coleta de dados com veículos conhecidos

Turno	Atividade	Velocidade	Posição	Passagem	Volta	Duração	Horário estimado	
Matutino	Coleta de dados	70 km/h	Esquerda	76	1	00:14	08:00	
				77	2	00:14	08:14	
				78	3	00:14	08:28	
				79	4	00:14	08:42	
				80	5	00:14	08:56	
		50 km/h		81	1	00:14	09:10	
				82	2	00:14	09:24	
				83	3	00:14	09:38	
				84	4	00:14	09:52	
				85	5	00:14	10:06	
	Intervalo						00:30	10:20
	Coleta de dados	90 km/h	Esquerda	86	1	00:14	10:50	
				87	2	00:14	11:04	
				88	3	00:14	11:18	
				89	4	00:14	11:32	
90				5	00:14	11:46		

Fonte: FAPEU (2023)

Dessa forma, em fevereiro de 2023, foi realizado o evento para a coleta de dados com veículos conhecidos, adotando a programação supracitada.

3.1.2. Coleta de dados com veículos conhecidos

No período dos dias 7 e 10 de fevereiro de 2023, foi realizado o evento de coleta de dados com veículos conhecidos, de acordo com o protocolo definido acima. Este evento de coleta tinha por objetivo a obtenção de dados para realizar uma avaliação do desempenho dos sistemas e, ainda, permitir a calibração desses, visando a continuidade da operação. A Figura 19 apresenta os três veículos selecionados para a calibração e coleta de dados.

Figura 19 – Veículos 3S3, 2S3 e 3C utilizados para a coleta de dados em fevereiro de 2023



Fonte: FAPEU (2023)

Após carregados, os veículos foram pesados em uma balança estática. Para isso, utilizou-se a balança de plataforma da empresa Bendo Alimentos (Lat. 28°59'13.9"S e Long. 49°39'14.1"O), situada no município de Ermo/SC, próximo de Araranguá/SC. A Figura 20 apresenta a balança utilizada nesta etapa, e o Quadro 5 expõe os resultados da pesagem estática.

Figura 20 – Balança da plataforma Bendo Alimentos, em Ermo/SC



Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 5 – Resultados da pesagem estática na balança de plataforma

Balança	Classe	PBT (kg)
Bendo Alimentos	3C	21.780
	2S3	39.000
	3S3	42.820

Fonte: FAPEU (2023)

Juntamente aos valores coletados na balança estática, foram também considerados os valores coletados nas pesagens em baixa velocidade, no PPV, para obtenção dos pesos de referência dos veículos. As pesagens de referência foram realizadas no primeiro dia da coleta, no Posto de Fiscalização da ANTT, localizado na rodovia BR-101, em Terra de Areia/RS, e contemplaram também a pesagem por eixos.

Os pesos obtidos pela balança do PPV são fornecidos por grupo de eixo. Nas classes selecionadas, os grupos são divididos da seguinte forma:

- Classe 3C:
 - Grupo 1: Eixo 1 (direcional).
 - Grupo 2: Eixos 2 e 3.
- Classe 2S3:

- Grupo 1: Eixo 1 (direcional).
- Grupo 2: Eixo 2.
- Grupo 3: Eixos 3, 4 e 5.

- Classe 3S3:
 - Grupo 1: Eixo 1 (direcional).
 - Grupo 2: Eixos 2 e 3.
 - Grupo 3: Eixos 4, 5 e 6.

No total, foram realizadas três pesagens de referência por veículo, a partir das quais foram obtidos os valores médios, expostos no Quadro 6, adotados como valores de referência do PPV.

Quadro 6 – Resultados da pesagem na balança de Terra de Areia/RS do PPV em fevereiro de 2023

Passagem	Classe	PBT (kg)	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	3C	21220	7810	7770	5640	-	-	-
	2S3	38310	5750	11060	4050	6540	10910	-
	3S3	42570	6520	8050	8090	5070	6680	8160
2	3C	21200	7810	7700	5690	-	-	-
	2S3	43020	5870	11090	8270	6840	10950	-
	3S3	42320	6410	8150	7950	4910	6810	8090
3	3C	21430	7780	7860	5790	-	-	-
	2S3	38490	5760	11140	3920	6860	10810	-
	3S3	34540	6480	8090	8080	5130	6760	-

Fonte: FAPEU (2023)

Tendo os pesos de referência e os pesos por eixo em mãos, deu-se início à coleta de dados. Ao todo, ao longo do evento, foram realizadas 97 passagens dos veículos sobre os sistemas HS-WIM, buscando realizar a programação proposta no item 3.1.1. O número total de passagens proposto pela programação foi cumprido, no entanto, em algumas condições específicas foram realizadas passagens extras, enquanto que, em outras conjunturas, menos passagens, conforme exposto a seguir:

- Quatro passagens a mais nas condições de 70 km/h – centro.
- Duas passagens a mais nas condições de 50 km/h – centro.
- Uma passagem a mais nas condições de 90 km/h – centro.
- Uma passagem a mais nas condições de 70 km/h – esquerda.
- Uma passagem a mais nas condições de 50 km/h – esquerda.
- Duas passagens a mais nas condições de 70 km/h – direita.

- Três passagens a menos nas condições de 90 km/h – direita.
- Uma passagem a menos nas condições de 90 km/h – esquerda.

4. Registro dos Dados

Os registros de pesagens das informações de peso e velocidade das passadas dos veículos de teste, coletados pelos diferentes sistemas de pesagem comerciais durante a realização dos testes, são apresentados neste capítulo. A apresentação dos dados coletados por cada sistema pode variar segundo o protocolo de comunicação. Os sistemas podem coletar as mesmas informações que são necessárias para a identificação do veículo (placa), sua classificação (número de eixos, distância entre eixos 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 de testes, todos os veículos que passam sobre os sistemas de pesagem são identificados e as informações coletadas são registrados no banco de dados interno do sistema. A identificação dos veículos de testes foi feita pela placa veicular ou de forma manual nos sistemas que não contam com câmeras de Leitura Automática de Placas Veiculares (LAP). No caso dos sistemas S1, S2 e S3, a identificação dos veículos foi pelo número da placa. A Figura 21 apresenta um exemplo do registro de dados coletado dos veículos da frota.

Figura 21 – Exemplo do registro de dados coletados pelos sistemas comerciais

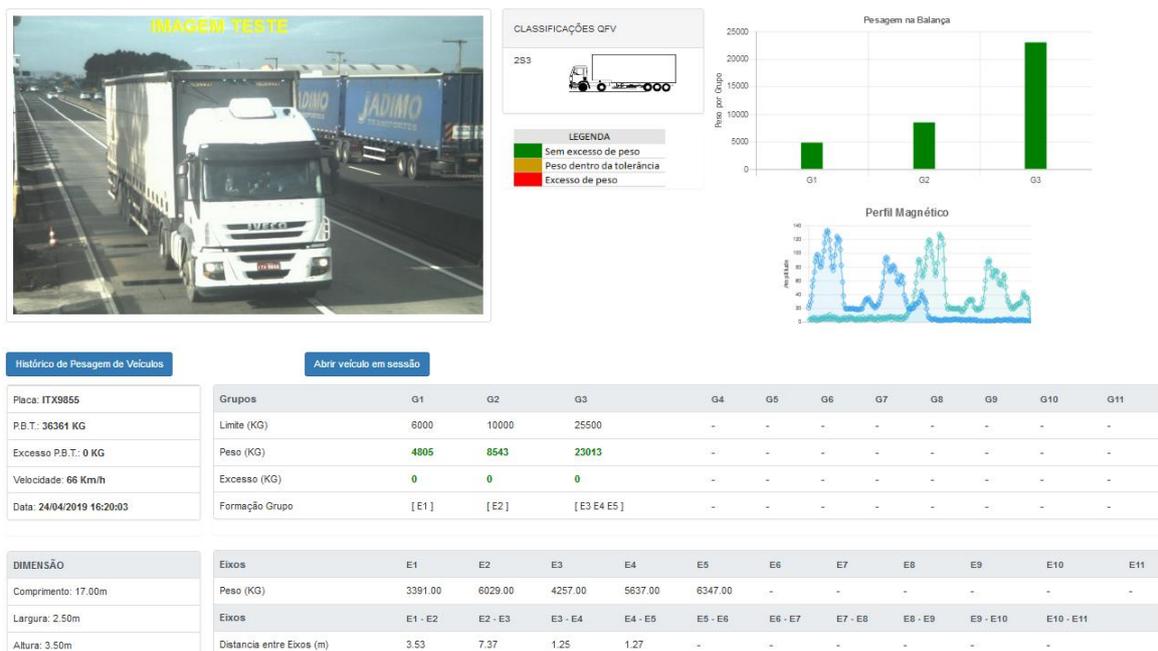
The screenshot shows the WIM (Weigh-In-Motion) system interface. At the top, there is a navigation bar with 'Live', 'History', 'Reports', 'Filters', and 'Settings'. Below this, there are search and filter options for 'Locality', 'Filter', 'Registration plate', 'Records', 'View', 'Refresh period', 'Alarm - Overloading', and 'Sound test'. The main data is presented in a table with the following columns: Detail, Sensor, Time, Pictogram, Registration plate ILPC, Image, Registration plate - back ILPC - back, Image - back, ADR Image, Total weight, Speed, Trailer, and Axle count. The table contains five rows of data for different vehicles.

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		MGC3965			1017 kg	92 km/h		2
AR-UR-W1	2023-05-24 10:55:22	JAK8H16		JAK8H16		JAL2H91			50136 kg	75 km/h	Trailer	6
AR-UR-W1	2023-05-24 10:55:03	MHG2C13		MHG2C13		MHG2C13			1660 kg	67 km/h		2
AR-UR-W1	2023-05-24 10:54:58	LZB1617		LZB1617		N/A			18202 kg	56 km/h		3
AR-UR-W1	2023-05-24 10:54:54	MIC8965		MIC8965		N/A			2897 kg	72 km/h		3

Fonte: FAPEU (2023)

A coleta de dados dos sistemas comerciais acontece automaticamente por meio do uso dos equipamentos que detectam e identificam o veículo alvo. Os dados são automaticamente registrados pelos sistemas e podem ser tratados para análise. A solução tecnológica adotada e a integração dos equipamentos para o registro de informações que são integradas pode variar para cada sistema. A Figura 22 apresenta um exemplo de registro de dados detalhados para um determinado evento, que configura a passagem de um veículo qualquer.

Figura 22 – Exemplo do registro de dados detalhados para um determinado evento



Fonte: FAPEU (2023)

A seguir são apresentados os dados coletados que serão utilizados na análise de desempenho no próximo capítulo. São os dados de apresentação: data e a hora de coleta, a velocidade (em quilômetros por hora), o peso bruto total, o peso por grupo de eixos e o peso por eixo (em quilogramas).

4.1. Sistema S1

A seguir, são exibidos os dados coletados do Sistema S1, os quais foram organizados por quadros de classes dos veículos analisados. O Quadro 7 apresenta os dados de velocidade, peso bruto total, peso por grupos de eixos (G1 e G2), peso por eixos individuais (E1, E2 e E3) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S1 para o veículo de classe 3C.

Quadro 7 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3C do Sistema S1

Data/hora	Velocidade	PBT	G1	G2	E1	E2	E3
2023-02-09 11:43:27	71	21770	8074	13696	8074	8291	5405
2023-02-09 11:55:37	68	21890	8054	13836	8054	8201	5635
2023-02-09 12:08:06	65	22039	7927	14112	7927	8272	5840
2023-02-09 12:20:16	72	21898	8013	13885	8013	8400	5485
2023-02-09 12:32:34	70	21732	8109	13623	8109	8075	5548
2023-02-09 12:44:53	74	22090	7815	14275	7815	8739	5536
2023-02-09 12:57:54	73	21697	7783	13914	7783	8501	5413
2023-02-09 13:22:35	75	21891	7815	14076	7815	8535	5541
2023-02-09 13:34:58	73	21774	7698	14076	7698	8587	5489
2023-02-09 15:08:36	52	21252	7672	13580	7672	8225	5355
2023-02-09 15:22:47	55	21820	7780	14040	7780	8511	5529
2023-02-09 15:36:05	54	21143	7683	13460	7683	8308	5152
2023-02-09 15:55:56	53	21457	7718	13739	7718	8379	5360
2023-02-09 16:09:22	55	21682	7786	13896	7786	8447	5449
2023-02-09 16:22:53	55	21966	7752	14214	7752	8730	5484
2023-02-09 16:36:21	56	21892	7828	14064	7828	8683	5381
2023-02-09 16:49:34	56	21651	7731	13920	7731	8571	5349
2023-02-09 17:02:45	54	21746	7725	14021	7725	8628	5393
2023-02-09 17:15:52	51	21465	7742	13723	7742	8259	5464
2023-02-10 05:24:10	76	22122	8020	14102	8020	8518	5584
2023-02-10 05:35:45	91	22436	7759	14677	7759	8795	5882
2023-02-10 06:48:54	76	22582	7890	14692	7890	9061	5631
2023-02-10 07:00:33	82	22607	7872	14735	7872	8819	5916
2023-02-10 07:12:11	89	22532	7806	14726	7806	8792	5934
2023-02-10 07:23:53	83	22484	7795	14689	7795	8786	5903
2023-02-10 07:36:39	90	22462	7711	14751	7711	8823	5928
2023-02-10 08:16:15	52	22146	7918	14228	7918	8571	5657
2023-02-10 08:29:56	51	21783	7685	14098	7685	8502	5596
2023-02-10 08:43:51	53	22077	7769	14308	7769	8646	5662
2023-02-10 08:58:26	54	21960	7705	14255	7705	8635	5620
2023-02-10 09:13:15	51	21807	7726	14081	7726	8354	5727
2023-02-10 10:59:49	79	21940	7757	14183	7757	8628	5555
2023-02-10 11:11:35	54	21425	7727	13698	7727	8398	5300
2023-02-10 11:35:50	79	21825	7786	14039	7786	8577	5462
2023-02-10 11:48:23	80	22476	7957	14519	7957	8830	5689
2023-02-10 12:00:32	79	22686	8099	14587	8099	8788	5799
2023-02-10 12:12:25	80	22361	7817	14544	7817	8933	5611
2023-02-10 12:24:39	68	20871	7730	13141	7730	7731	5410

Fonte: FAPEU (2023)

O Quadro 8 apresenta os dados de velocidade, peso bruto total, de peso por grupos de eixos (G1, G2 e G3), de peso por eixos individuais (E1, E2, E3, E4 e E5) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S1 para o veículo de classe 2S3.

Quadro 8 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 2S3 do Sistema S1

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5
2023-02-09 10:39:54	53	38420	5515	10879	22026	5515	10879	4527	7100	10399
2023-02-09 10:53:04	68	38376	5673	11033	21670	5673	11033	4768	7032	9870
2023-02-09 11:18:25	69	39066	5743	11165	22158	5743	11165	4843	7172	10143
2023-02-09 11:31:00	67	38290	5626	11172	21492	5626	11172	4656	7016	9820
2023-02-09 11:43:29	71	39838	5894	11358	22586	5894	11358	4824	7624	10138
2023-02-09 12:08:09	68	38973	5870	11108	21995	5870	11108	4759	7263	9973
2023-02-09 12:20:20	72	38924	5831	10896	22197	5831	10896	4669	7433	10095
2023-02-09 12:32:37	71	38044	5805	10962	21277	5805	10962	4408	6893	9976
2023-02-09 12:45:00	68	39366	5714	11156	22496	5714	11156	4971	7301	10224
2023-02-09 12:57:57	70	39691	5983	11076	22632	5983	11076	4908	7663	10061
2023-02-09 13:10:08	67	39705	5743	11524	22438	5743	11524	5047	7159	10232
2023-02-09 13:22:40	70	39675	5801	11304	22570	5801	11304	4781	7307	10482
2023-02-09 13:35:01	69	39327	6023	11094	22210	6023	11094	4835	7455	9920
2023-02-09 15:08:39	52	38544	5374	10791	22379	5374	10791	4550	7442	10387
2023-02-09 15:22:51	53	38878	5552	10836	22490	5552	10836	4536	7336	10618
2023-02-09 15:36:08	54	38459	5591	10437	22431	5591	10437	4297	7433	10701
2023-02-09 16:09:25	53	38457	5495	10972	21990	5495	10972	4301	7461	10228
2023-02-09 16:22:58	54	38591	5461	10741	22389	5461	10741	4476	7530	10383
2023-02-09 16:36:26	53	37532	5399	10511	21622	5399	10511	4262	7079	10281
2023-02-09 17:02:49	53	37308	5452	10338	21518	5452	10338	4239	7012	10267
2023-02-09 17:15:57	54	39573	5799	10681	23093	5799	10681	4754	7497	10842
2023-02-10 05:24:11	83	39731	6004	11031	22696	6004	11031	4729	7213	10754
2023-02-10 05:35:52	86	40485	5885	11392	23208	5885	11392	4812	7566	10830
2023-02-10 06:48:55	75	39500	5675	11134	22691	5675	11134	4809	7373	10509
2023-02-10 07:00:34	82	39972	5759	11174	23039	5759	11174	4770	7518	10751
2023-02-10 07:12:12	89	39596	5573	11267	22756	5573	11267	4857	7294	10605
2023-02-10 07:23:54	83	40638	5585	11566	23487	5585	11566	4939	7689	10859
2023-02-10 07:36:40	88	39891	5864	11484	22543	5864	11484	4709	7020	10814
2023-02-10 07:48:56	69	39993	5847	11625	22521	5847	11625	4946	7560	10015
2023-02-10 08:02:20	87	39038	5780	11139	22119	5780	11139	4354	7413	10352
2023-02-10 08:16:20	50	38896	5648	10714	22534	5648	10714	4579	7563	10392
2023-02-10 08:30:00	52	38882	5673	10721	22488	5673	10721	4882	7115	10491
2023-02-10 08:43:56	55	39592	5846	10684	23062	5846	10684	4560	7521	10981
2023-02-10 08:58:30	52	38261	5652	10431	22178	5652	10431	4618	7180	10380

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5
2023-02-10 09:13:21	51	38691	5719	10664	22308	5719	10664	4778	7450	10080
2023-02-10 10:59:50	78	39764	5583	11631	22550	5583	11631	4596	7230	10724
2023-02-10 11:11:37	54	39547	5399	11122	23026	5399	11122	4703	7565	10758
2023-02-10 11:35:56	78	39292	5911	11016	22365	5911	11016	4647	7245	10473
2023-02-10 11:48:31	79	38719	5964	10797	21958	5964	10797	4584	6993	10381
2023-02-10 12:24:42	71	38549	5736	10936	21877	5736	10936	4613	7466	9798

Fonte: FAPEU (2023)

O Quadro 9 apresenta os dados de velocidade, peso bruto total, de peso por grupos de eixos (G1, G2 e G3), peso por eixos individuais (E1, E2, E3, E4, E5 e E6) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S1 para o veículo de classe 3S3.

Quadro 9 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3S3 do Sistema S1

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2023-02-09 10:39:56	52	43090	6428	16287	20375	6428	8011	8276	5972	6727	7676
2023-02-09 10:53:19	66	43356	6301	16119	20936	6301	8261	7858	5540	7337	8059
2023-02-09 11:18:27	69	42030	6231	16265	19534	6231	8535	7730	5251	6634	7649
2023-02-09 11:43:31	71	44416	6465	16667	21284	6465	8404	8263	6332	6978	7974
2023-02-09 11:55:42	67	44112	6505	16158	21449	6505	8169	7989	5896	7091	8462
2023-02-09 12:08:11	66	43572	6647	16011	20914	6647	8318	7693	5747	6657	8510
2023-02-09 12:20:22	71	43342	6566	16212	20564	6566	8200	8012	6132	6815	7617
2023-02-09 12:32:39	70	43636	6750	16171	20715	6750	8293	7878	5804	6858	8053
2023-02-09 12:45:04	68	43351	6404	16314	20633	6404	8560	7754	5938	6480	8215
2023-02-09 12:58:00	69	44185	6602	16410	21173	6602	8422	7988	6155	6995	8023
2023-02-09 13:10:10	66	43733	6173	16276	21284	6173	8404	7872	5863	7049	8372
2023-02-09 13:22:45	69	43343	6501	16106	20736	6501	8431	7675	6014	6631	8091
2023-02-09 13:35:04	70	43841	6402	16687	20752	6402	8783	7904	5694	6954	8104
2023-02-09 15:08:46	49	42664	6497	15648	20519	6497	8153	7495	6176	6438	7905
2023-02-09 15:22:53	53	43218	6485	16070	20663	6485	7986	8084	6104	7024	7535
2023-02-09 15:36:11	55	42858	6376	15793	20689	6376	7844	7949	6150	7194	7345
2023-02-09 15:56:03	53	44069	6296	16475	21298	6296	8290	8185	6223	7557	7518
2023-02-09 16:09:28	51	44147	6404	16392	21351	6404	8494	7898	6223	7100	8028
2023-02-09 16:23:02	55	42391	6385	15684	20322	6385	7605	8079	6199	6602	7521
2023-02-09 16:36:29	53	42877	6429	16031	20417	6429	7971	8060	6212	6877	7328
2023-02-09 16:49:43	48	43764	6392	15871	21501	6392	8135	7736	6033	7325	8143
2023-02-09 17:02:52	50	42971	6237	16094	20640	6237	8029	8065	5558	6884	8198
2023-02-09 17:16:00	53	43147	6302	16521	20324	6302	8199	8322	5942	6622	7760
2023-02-10 05:36:09	75	44526	6595	17020	20911	6595	8889	8131	5943	7258	7710
2023-02-10 06:48:56	75	44704	6762	16993	20949	6762	8726	8267	5973	7161	7815

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2023-02-10 07:00:41	79	44682	6742	16902	21038	6742	8487	8415	6288	7248	7502
2023-02-10 07:12:31	74	44280	6734	16702	20844	6734	8545	8157	5879	7058	7907
2023-02-10 07:24:21	70	44451	6396	16579	21476	6396	8544	8035	6328	7178	7970
2023-02-10 07:37:13	69	44937	6632	16773	21532	6632	8698	8075	6305	7087	8140
2023-02-10 07:49:36	65	43808	6407	16112	21289	6407	8288	7824	5886	7185	8218
2023-02-10 08:03:02	63	43952	6480	16391	21081	6480	8155	8236	5799	7118	8164
2023-02-10 08:16:24	48	43813	6330	16530	20953	6330	8484	8046	6115	6390	8448
2023-02-10 08:30:04	50	44327	6579	16465	21283	6579	8161	8304	5988	7277	8018
2023-02-10 08:44:03	50	44326	6711	16431	21184	6711	8219	8212	6255	6954	7975
2023-02-10 08:58:33	51	43954	6500	16240	21214	6500	8128	8112	6304	6954	7956
2023-02-10 09:13:28	52	43988	6398	16854	20736	6398	8491	8363	5944	6873	7919
2023-02-10 10:59:52	75	43443	6479	16472	20492	6479	8533	7939	6013	6987	7492
2023-02-10 11:11:38	53	42937	6774	16186	19977	6774	8185	8001	6072	6314	7591
2023-02-10 11:24:05	77	43106	6642	16360	20104	6642	8333	8027	5917	6932	7255
2023-02-10 11:36:00	74	43185	6417	16369	20399	6417	8407	7962	6060	6915	7424
2023-02-10 11:48:33	75	43749	6616	16621	20512	6616	8573	8048	5992	6821	7699
2023-02-10 12:00:41	74	44515	6734	16637	21144	6734	8708	7929	5853	7553	7738
2023-02-10 12:12:33	75	43252	6713	16383	20156	6713	8374	8009	5800	6812	7544
2023-02-10 12:24:45	75	43097	6503	16334	20260	6503	8337	7997	6021	6675	7564

Fonte: FAPEU (2023)

4.2. Sistema S2

A seguir, são exibidos os dados coletados do Sistema S2, organizados por quadros de classes dos veículos analisados. O Quadro 10 apresenta os dados de velocidade, de peso bruto total, peso por grupos de eixos (G1 e G2), de peso por eixos individuais (E1, E2 e E3) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S2 para o veículo de classe 3C.

Quadro 10 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3C do Sistema S2

Data/hora	Velocidade	PBT	G1	G2	E1	E2	E3
2023-02-09 10:53:09	66,3	22920	7850	15070	7850	8920	6150
2023-02-09 11:43:33	70,0	21940	7630	14310	7630	8410	5900
2023-02-09 11:55:44	67,4	22050	7650	14400	7650	8700	5700
2023-02-09 12:20:23	71,4	21370	7770	13600	7770	8070	5530
2023-02-09 12:32:41	68,8	22080	7520	14560	7520	8660	5900
2023-02-09 12:58:00	73,0	21850	7990	13860	7990	8190	5670
2023-02-09 15:22:54	54,5	22100	7730	14370	7730	8420	5950
2023-02-09 15:56:03	52,7	22090	7810	14280	7810	8480	5800
2023-02-09 16:09:29	54,8	22150	7800	14350	7800	8400	5950

Data/hora	Velocidade	PBT	G1	G2	E1	E2	E3
2023-02-09 16:36:28	55,9	21960	7490	14470	7490	8360	6110
2023-02-09 16:49:41	56,4	21720	7410	14310	7410	8190	6120
2023-02-09 17:02:52	54,7	21890	7410	14480	7410	8520	5960
2023-02-09 17:16:00	51,6	21980	7450	14530	7450	8550	5980
2023-02-10 05:24:14	72,6	21980	8150	13830	8150	8480	5350
2023-02-10 05:35:48	91,8	21560	8300	13260	8300	7990	5270
2023-02-10 07:00:37	80,5	22630	7980	14650	7980	8630	6020
2023-02-10 07:12:13	87,7	21910	8200	13710	8200	7960	5750
2023-02-10 07:36:42	91,4	21200	8140	13060	8140	7730	5330
2023-02-10 07:48:59	63,1	21560	7770	13790	7770	8430	5360
2023-02-10 08:16:22	52,9	21910	7870	14040	7870	8280	5760
2023-02-10 08:30:03	51,8	22220	7960	14260	7960	8360	5900
2023-02-10 08:43:58	54,1	21830	7770	14060	7770	8370	5690
2023-02-10 08:58:32	54,2	21920	7810	14110	7810	8290	5820
2023-02-10 09:13:22	52	22100	7880	14220	7880	8330	5890
2023-02-10 12:00:35	76,3	21500	7740	13760	7740	8190	5570

Fonte: FAPEU (2023)

O Quadro 11 apresenta os dados de velocidade, peso bruto total, de peso por grupos de eixos (G1, G2 e G3), de pesos por eixos individuais (E1, E2, E3, E4 e E5) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S2 para o veículo de classe 2S3.

Quadro 11 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 2S3 do Sistema S2

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5
2023-02-09 10:40:03	53,3	38340	5630	10720	21990	5630	10720	4520	7200	10270
2023-02-09 10:53:11	68,0	37140	5700	10820	20620	5700	10820	4550	6520	9550
2023-02-09 11:43:35	70,5	36390	5250	9990	21150	5250	9990	4470	6980	9700
2023-02-09 11:55:47	69,7	37610	5270	10390	21950	5270	10390	4550	7540	9860
2023-02-09 12:20:27	71,8	36980	5140	9730	22110	5140	9730	4620	7260	10230
2023-02-09 12:32:44	70,6	37000	5280	10110	21610	5280	10110	4470	7260	9880
2023-02-09 12:45:07	69,7	37200	5440	10010	21750	5440	10010	4790	7220	9740
2023-02-09 12:58:04	69,0	37100	5340	10340	21420	5340	10340	4800	6880	9740
2023-02-09 13:10:15	68,6	37500	5320	10380	21800	5320	10380	4680	7300	9820
2023-02-09 15:22:58	52,5	37990	5750	10200	22040	5750	10200	4550	7160	10330
2023-02-09 15:36:16	54,1	37480	5400	9980	22100	5400	9980	4650	7130	10320
2023-02-09 16:09:33	54,5	37730	5510	10520	21700	5510	10520	4550	7030	10120
2023-02-09 16:36:34	55,4	36550	5270	10100	21180	5270	10100	4610	6850	9720
2023-02-09 17:02:57	54,3	37200	5480	10400	21320	5480	10400	4440	6700	10180
2023-02-09 17:16:04	54,2	37130	5450	9730	21950	5450	9730	4510	7370	10070

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5
2023-02-10 05:24:15	73,2	38100	5710	9880	22510	5710	9880	4790	7520	10200
2023-02-10 05:35:55	84,8	38750	5740	10260	22750	5740	10260	5070	7670	10010
2023-02-10 06:48:59	77,9	38100	5430	10280	22390	5430	10280	4850	7270	10270
2023-02-10 07:00:38	82,3	38490	5730	10530	22230	5730	10530	5150	7330	9750
2023-02-10 07:12:15	87,9	37780	5630	10070	22080	5630	10070	4760	7360	9960
2023-02-10 07:36:43	87,1	36880	5660	9440	21780	5660	9440	4810	7160	9810
2023-02-10 07:49:01	58,5	37070	5220	10070	21780	5220	10070	4720	7480	9580
2023-02-10 08:16:27	50,5	37490	5680	10120	21690	5680	10120	4440	7170	10080
2023-02-10 08:30:07	48,1	37480	5620	9960	21900	5620	9960	4620	7380	9900
2023-02-10 08:44:03	54,5	38130	5410	10420	22300	5410	10420	4620	7260	10420
2023-02-10 08:58:37	53,7	37510	5580	10060	21870	5580	10060	4540	7170	10160
2023-02-10 09:13:28	50,9	36930	5750	9960	21220	5750	9960	4300	7230	9690
2023-02-10 12:00:43	76,5	36610	5060	10200	21350	5060	10200	4800	7240	9310
2023-02-10 12:24:47	70,6	37470	5530	10070	21870	5530	10070	4660	7510	9700

Fonte: FAPEU (2023)

O Quadro 12 apresenta os dados de velocidade, peso bruto total, de peso por grupos de eixos (G1, G2 e G3), de peso por eixos individuais (E1, E2, E3, E4 e E5) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S2 para o veículo de classe 3S3.

Quadro 12 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3S3 do Sistema S2

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2023-02-09 10:40:05	53,7	40340	6310	14930	19100	6310	7470	7460	4670	6830	7600
2023-02-09 11:55:49	66,0	41630	6200	15010	20420	6200	7200	7810	6140	6650	7630
2023-02-09 12:20:29	70,3	41610	5950	15320	20340	5950	7650	7670	6260	6880	7200
2023-02-09 12:32:46	69,4	41740	6200	14930	20610	6200	7410	7520	5690	6830	8090
2023-02-09 12:45:11	67,5	42150	6210	15060	20880	6210	7520	7540	6150	7180	7550
2023-02-09 12:58:07	65,4	41010	6350	14890	19770	6350	7270	7620	6280	6330	7160
2023-02-09 13:10:17	67,7	40140	6160	14340	19640	6160	7090	7250	5180	7340	7120
2023-02-09 13:22:52	68,0	41180	6250	14960	19970	6250	7380	7580	5410	6770	7790
2023-02-09 15:36:19	52,4	41920	6230	14880	20810	6230	7440	7440	6120	7200	7490
2023-02-09 16:09:36	52,1	40770	5970	14880	19920	5970	7270	7610	5810	6470	7640
2023-02-09 16:36:37	52,3	41290	6000	14860	20430	6000	7410	7450	5970	7000	7460
2023-02-09 17:03:00	52,4	41140	6000	14390	20750	6000	7050	7340	6060	7020	7670
2023-02-09 17:16:08	54,0	41520	6100	15020	20400	6100	7540	7480	5610	7230	7560
2023-02-10 05:36:13	75,0	42830	6300	15520	21010	6300	7840	7680	6210	6650	8150
2023-02-10 06:49:00	76,0	42910	6470	15830	20610	6470	7800	8030	6370	6340	7900
2023-02-10 07:00:44	78,7	41990	6190	14970	20830	6190	7380	7590	5720	7320	7790
2023-02-10 07:12:35	73,8	41280	6360	15240	19680	6360	7630	7610	5370	6350	7960
2023-02-10 07:24:25	69,6	42700	6420	15500	20780	6420	7640	7860	5950	7250	7580

Data/hora	Vel.	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2023-02-10 07:37:18	69,3	43190	6250	15350	21590	6250	7720	7630	6140	7830	7620
2023-02-10 07:49:41	65,5	42800	6350	15380	21070	6350	7580	7800	6330	7440	7300
2023-02-10 08:16:31	49,5	42020	6390	15130	20500	6390	7770	7360	5800	7150	7550
2023-02-10 08:30:12	48,7	40920	6340	14920	19660	6340	7330	7590	5900	6890	6870
2023-02-10 08:44:10	51,6	42250	6470	15120	20660	6470	7670	7450	5920	7010	7730
2023-02-10 08:58:40	52,2	40590	6350	14710	19530	6350	7390	7320	5340	6740	7450
2023-02-10 09:13:35	52,0	41760	6340	15020	20400	6340	7610	7410	6000	6930	7470
2023-02-10 10:59:56	76,6	41990	6450	15370	20170	6450	7680	7690	6180	6890	7100
2023-02-10 11:48:37	75,4	42260	6440	15110	20710	6440	7580	7530	5690	7320	7700
2023-02-10 12:00:45	73,7	41500	6080	15140	20280	6080	7640	7500	5490	6830	7960
2023-02-10 12:24:49	73,3	42070	6420	15090	20560	6420	7570	7520	5400	7040	8120

Fonte: FAPEU (2023)

4.3. Sistema S3

A seguir, são exibidos os dados coletados do Sistema S3, organizados por quadros de classes dos veículos analisados. O Quadro 13 apresenta os dados de peso bruto total, de peso por grupos de eixos (G1 e G2), de peso por eixos individuais (E1, E2 e E3) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S3 para o veículo de classe 3C.

Quadro 13 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3C do Sistema S3

Data/hora	PBT	G1	G2	E1	E2	E3
2023-02-09 10:40:05	21760	7770	13990	7770	8390	5600
2023-02-09 10:53:12	21890	7650	14240	7650	8590	5650
2023-02-09 11:05:52	21770	7700	14070	7700	8400	5670
2023-02-09 11:18:33	21660	7550	14110	7550	8580	5530
2023-02-09 11:31:09	21770	7610	14160	7610	8380	5780
2023-02-09 11:43:37	21790	7610	14180	7610	8370	5810
2023-02-09 11:55:48	21630	7680	13950	7680	8390	5560
2023-02-09 12:08:17	21660	7780	13880	7780	8280	5600
2023-02-09 12:20:25	21830	7740	14090	7740	8410	5680
2023-02-09 12:32:44	21520	7540	13980	7540	8440	5540
2023-02-09 12:45:02	21610	7800	13810	7800	8190	5620
2023-02-09 12:58:03	21870	7690	14180	7690	8470	5710
2023-02-09 13:10:09	21950	7660	14290	7660	8600	5690
2023-02-09 13:22:44	21960	7830	14130	7830	8340	5790
2023-02-09 13:35:07	21800	7620	14180	7620	8450	5730
2023-02-09 14:54:21	21950	7750	14200	7750	8490	5710
2023-02-09 15:08:48	21890	7600	14290	7600	8470	5820
2023-02-09 15:22:59	22100	7900	14200	7900	8380	5820

Data/hora	PBT	G1	G2	E1	E2	E3
2023-02-09 15:36:17	21520	7670	13850	7670	8230	5620
2023-02-09 15:56:08	21760	7550	14210	7550	8360	5850
2023-02-09 16:09:34	21930	7640	14290	7640	8500	5790
2023-02-09 16:23:06	21850	7730	14120	7730	8450	5670
2023-02-09 16:36:33	22020	7810	14210	7810	8410	5800
2023-02-09 16:49:46	21520	7500	14020	7500	8400	5620
2023-02-09 17:02:57	21940	7570	14370	7570	8630	5740
2023-02-09 17:16:06	21960	7650	14310	7650	8520	5790
2023-02-10 05:24:19	21540	7610	13930	7610	8380	5550
2023-02-10 05:35:53	21480	7640	13840	7640	8260	5580
2023-02-10 06:49:02	21810	7630	14180	7630	8380	5800
2023-02-10 07:00:41	21780	7710	14070	7710	8410	5660
2023-02-10 07:12:18	21840	7640	14200	7640	8520	5680
2023-02-10 07:24:01	21690	7590	14100	7590	8480	5620
2023-02-10 07:36:46	21710	7600	14110	7600	8470	5640
2023-02-10 07:49:04	21780	7560	14220	7560	8500	5720
2023-02-10 08:02:02	21400	7600	13800	7600	8190	5610
2023-02-10 08:16:27	22000	7720	14280	7720	8510	5770
2023-02-10 08:30:08	21940	7660	14280	7660	8590	5690
2023-02-10 08:44:03	21770	7780	13990	7780	8300	5690
2023-02-10 08:58:38	21750	7610	14140	7610	8460	5680
2023-02-10 09:13:28	21880	7750	14130	7750	8460	5670
2023-02-10 10:59:57	21650	7530	14120	7530	8400	5720
2023-02-10 11:11:47	21910	7620	14290	7620	8570	5720
2023-02-10 11:24:11	21510	7540	13970	7540	8200	5770
2023-02-10 11:35:58	21780	7780	14000	7780	8170	5830
2023-02-10 11:48:32	21560	7530	14030	7530	8190	5840
2023-02-10 12:00:41	21840	7800	14040	7800	8460	5580
2023-02-10 12:12:33	21580	7550	14030	7550	8470	5560
2023-02-10 12:24:49	21940	7710	14230	7710	8470	5760

Fonte: FAPEU (2023)

O Quadro 14 apresenta os dados de peso bruto total, de peso por grupos de eixos (G1, G2 e G3), de peso por eixos individuais (E1, E2, E3 e E4) e dados de cada passada (data e hora) pelo sistema S3 para o veículo classe 2S3.

Quadro 14 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 2S3 do Sistema S3

Data/hora	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5
2023-02-09 10:40:07	39440	5870	11040	22530	5870	11040	4430	7120	10980
2023-02-09 10:53:14	39300	5790	11310	22200	5790	11310	4280	7200	10720

Data/hora	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5
2023-02-09 11:05:53	39100	5740	11250	22110	5740	11250	4260	6960	10890
2023-02-09 11:18:35	39100	5790	11040	22270	5790	11040	4320	7050	10900
2023-02-09 11:31:11	39270	5790	11170	22310	5790	11170	4330	7190	10790
2023-02-09 11:43:39	38950	5660	11020	22270	5660	11020	4320	7190	10760
2023-02-09 11:55:50	39080	5710	10930	22440	5710	10930	4310	7240	10890
2023-02-09 12:08:20	38610	5560	10950	22100	5560	10950	4300	7230	10570
2023-02-09 12:20:29	39340	5710	11170	22460	5710	11170	4340	7330	10790
2023-02-09 12:32:46	38790	5740	10950	22100	5740	10950	4250	6970	10880
2023-02-09 12:45:09	38950	5740	11300	21910	5740	11300	4220	7210	10480
2023-02-09 12:58:06	39550	5800	11070	22680	5800	11070	4290	7400	10990
2023-02-09 13:10:17	38910	5700	11190	22020	5700	11190	4420	7190	10410
2023-02-09 13:22:49	39090	5900	11030	22160	5900	11030	4340	7140	10680
2023-02-09 13:35:11	39170	5680	10960	22530	5680	10960	4240	7240	11050
2023-02-09 14:55:22	39060	5750	11200	22110	5750	11200	4340	7170	10600
2023-02-09 15:08:51	39250	5820	11060	22370	5820	11060	4350	7070	10950
2023-02-09 15:23:03	39270	5830	11080	22360	5830	11080	4350	7080	10930
2023-02-09 15:36:21	38620	5680	11060	21880	5680	11060	4220	7070	10590
2023-02-09 15:56:13	39150	5840	10970	22340	5840	10970	4380	7030	10930
2023-02-09 16:09:38	38700	5750	10820	22130	5750	10820	4340	7090	10700
2023-02-09 16:23:10	39410	5660	11310	22440	5660	11310	4380	7330	10730
2023-02-09 16:36:39	39230	5840	11140	22250	5840	11140	4390	7060	10800
2023-02-09 16:49:53	38800	5870	10820	22110	5870	10820	4230	7070	10810
2023-02-09 17:03:02	38980	5840	11230	21910	5840	11230	4170	7080	10660
2023-02-09 17:16:09	39340	5860	11390	22090	5860	11390	4330	7160	10600
2023-02-10 05:24:20	39360	5890	11100	22370	5890	11100	4280	7220	10870
2023-02-10 05:36:00	38640	5780	10990	21870	5780	10990	4200	7040	10630
2023-02-10 06:49:03	38730	5860	10760	22110	5860	10760	4200	7170	10740
2023-02-10 07:00:42	38810	5640	10910	22260	5640	10910	4330	7180	10750
2023-02-10 07:12:19	38740	5700	10850	22190	5700	10850	4320	7010	10860
2023-02-10 07:24:02	39410	5830	11360	22220	5830	11360	4310	7200	10710
2023-02-10 07:36:48	39210	5850	11260	22100	5850	11260	4230	7160	10710
2023-02-10 07:49:06	39230	5670	11310	22250	5670	11310	4390	7260	10600
2023-02-10 08:02:27	38470	5800	10810	21860	5800	10810	4240	7120	10500
2023-02-10 08:16:33	38850	5690	11220	21940	5690	11220	4310	7090	10540
2023-02-10 08:30:13	38800	5700	11210	21890	5700	11210	4300	7040	10550
2023-02-10 08:44:08	39140	5830	10930	22380	5830	10930	4350	7260	10770
2023-02-10 08:58:42	38920	5670	11210	22040	5670	11210	4210	7230	10600
2023-02-10 09:13:34	39310	5750	11250	22310	5750	11250	4340	7220	10750
2023-02-10 10:59:58	40080	6000	11510	22570	6000	11510	4230	7250	11090

Data/hora	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5
2023-02-10 11:11:49	39360	5630	11310	22420	5630	11310	4340	7220	10860
2023-02-10 11:36:05	38800	5750	11040	22010	5750	11040	4270	7200	10540
2023-02-10 11:48:40	39030	5800	11010	22220	5800	11010	4360	7310	10550
2023-02-10 12:00:48	39000	5750	11010	22240	5750	11010	4340	7170	10730
2023-02-10 12:12:39	39590	5860	11310	22420	5860	11310	4320	7150	10950
2023-02-10 12:24:52	39070	5840	11170	22060	5840	11170	4290	7270	10500

Fonte: FAPEU (2023)

O Quadro 15 apresenta os dados de peso bruto total, de peso por grupos de eixos (G1, G2 e G3), de peso por eixos individuais (E1, E2, E3 e E4) e dados de cada passada (data e hora), pelo sistema S3 para o veículo classe 3S3.

Quadro 15 – Dados coletados dos veículos conhecidos da classe 3S3 do Sistema S3

Data/hora	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2023-02-09 10:40:09	43130	6490	16400	20240	6490	8400	8000	5530	7030	7680
2023-02-09 10:53:30	42870	6340	16270	20260	6340	8360	7910	5530	7030	7700
2023-02-09 11:05:55	42480	6210	16180	20090	6210	8310	7870	5530	6810	7750
2023-02-09 11:18:37	42990	6410	16210	20370	6410	8170	8040	5540	6960	7870
2023-02-09 11:31:14	42780	6270	16430	20080	6270	8280	8150	5660	6820	7600
2023-02-09 11:43:41	43470	6370	16500	20600	6370	8460	8040	5630	6960	8010
2023-02-09 11:55:52	42620	6180	16020	20420	6180	8130	7890	5650	6940	7830
2023-02-09 12:08:21	42890	6530	16260	20100	6530	8110	8150	5530	6870	7700
2023-02-09 12:20:32	43050	6410	16340	20300	6410	8260	8080	5620	6990	7690
2023-02-09 12:32:48	43040	6390	16230	20420	6390	8350	7880	5680	6870	7870
2023-02-09 12:45:13	42780	6380	16170	20230	6380	8120	8050	5700	7000	7530
2023-02-09 12:58:09	42900	6360	16290	20250	6360	8310	7980	5500	6980	7770
2023-02-09 13:10:19	42770	6440	16160	20170	6440	8200	7960	5440	6920	7810
2023-02-09 13:22:54	42930	6230	16200	20500	6230	8180	8020	5640	6920	7940
2023-02-09 13:35:13	43050	6350	16530	20170	6350	8480	8050	5630	6870	7670
2023-02-09 14:54:49	43000	6330	16510	20160	6330	8420	8090	5550	6940	7670
2023-02-09 15:08:59	42840	6200	16400	20240	6200	8310	8090	5630	6860	7750
2023-02-09 15:23:06	42550	6250	16270	20030	6250	8440	7830	5500	6760	7770
2023-02-09 15:36:23	43080	6330	16410	20340	6330	8250	8160	5450	7000	7890
2023-02-09 15:56:16	43030	6190	16500	20340	6190	8320	8180	5590	7020	7730
2023-02-09 16:09:41	42960	6330	16230	20400	6330	8290	7940	5570	6940	7890
2023-02-09 16:23:14	43240	6300	16760	20180	6300	8550	8210	5490	6710	7980
2023-02-09 16:36:42	42800	6310	16390	20100	6310	8400	7990	5580	6840	7680
2023-02-09 16:49:56	43160	6390	16310	20460	6390	8450	7860	5660	6870	7930
2023-02-09 17:03:05	42900	6370	16420	20110	6370	8270	8150	5540	6750	7820
2023-02-09 17:16:13	43050	6260	16460	20330	6260	8420	8040	5650	6790	7890

Data/hora	PBT	G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2023-02-10 05:24:29	42550	6280	16190	20080	6280	8350	7840	5410	6900	7770
2023-02-10 05:36:19	43180	6450	16490	20240	6450	8440	8050	5470	6870	7900
2023-02-10 06:49:05	42830	6270	16050	20510	6270	8210	7840	5480	7060	7970
2023-02-10 07:00:49	42690	6280	16350	20060	6280	8260	8090	5570	6720	7770
2023-02-10 07:12:40	43160	6420	16270	20470	6420	8450	7820	5690	6830	7950
2023-02-10 07:24:30	42770	6370	16160	20240	6370	8220	7940	5610	6960	7670
2023-02-10 07:37:09	43030	6330	16620	20080	6330	8460	8160	5660	6840	7580
2023-02-10 07:49:46	42900	6350	16330	20220	6350	8180	8150	5690	6920	7610
2023-02-10 08:03:12	43060	6440	16470	20150	6440	8330	8140	5550	7010	7590
2023-02-10 08:16:37	42750	6140	16470	20140	6140	8320	8150	5560	6860	7720
2023-02-10 08:30:17	43260	6250	16480	20530	6250	8320	8160	5670	6940	7920
2023-02-10 08:44:16	43140	6400	16470	20270	6400	8480	7990	5690	6860	7720
2023-02-10 08:58:45	42990	6430	16080	20480	6430	8210	7870	5520	7060	7900
2023-02-10 09:13:41	42550	6210	16130	20210	6210	8290	7840	5430	6880	7900
2023-02-10 11:00:01	42980	6300	16330	20350	6300	8400	7930	5650	6910	7790
2023-02-10 11:11:51	42310	6290	15920	20100	6290	8040	7880	5450	6830	7820
2023-02-10 11:24:15	43100	6240	16460	20400	6240	8350	8110	5680	6990	7730
2023-02-10 11:36:09	42930	6400	16180	20350	6400	8120	8060	5540	6810	8000
2023-02-10 11:48:42	42710	6340	16350	20020	6340	8450	7900	5550	6830	7640
2023-02-10 12:00:51	42650	6280	16360	20010	6280	8340	8020	5500	6750	7760
2023-02-10 12:12:42	42720	6280	16120	20320	6280	8110	8010	5650	6920	7750
2023-02-10 12:24:55	43200	6360	16420	20420	6360	8440	7980	5640	6950	7830

Fonte: FAPEU (2023)

5. Análise de Desempenho dos Sistemas

Os pesos obtidos com os três sistemas comerciais analisados foram comparados com os valores de referência dos veículos conhecidos, com a finalidade de avaliar o desempenho dos sistemas instalados no que tange a sua capacidade de estimar os pesos reais dos veículos passantes. Este processo de análise inicia pela definição dos pesos de referência a serem adotados, processo que, por sua vez, devem levar em consideração os erros apresentados pelas balanças de precisão utilizadas na consideração dos seus resultados. Com os pesos de referência definidos, são calculados os erros percentuais para cada registro de pesagem apresentado por cada sistema comercial. 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 para 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, se mistura e se distribui 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, se verifica 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 desta distribuição, 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, com os limites para erro máximo admissível estando estabelecidos no Regulamento Técnico Metrológico da Portaria nº 19, de 12 de janeiro de 2022 (Brasil, 2022) do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), atualmente vigente no país. Os erros máximos também são comparados com os limites da recomendação R 134-1 (OIML, 2006) da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML). Além da verificação dos erros máximos, também se aplica o procedimento estabelecido na especificação de referência COST 323 (COST Project, 1999), documento internacional de referência elaborado

para embasar a criação de normativas para a avaliação de desempenho de sistemas *High Speed Weigh In Motion* (HS-WIM). O procedimento da COST 323 não consiste apenas na comparação dos erros máximos, mas sim na aplicação de um tratamento estatístico da amostra de erros coletados para verificar o nível de confiança estatístico dos resultados apresentados pelo sistema.

Além da comparação com as metodologias de análise, também são realizadas análises exploratórias da correlação dos erros da amostra com a velocidade dos veículos e com a data e hora da coleta, visando identificar problemas no processo de coleta de dados ou variabilidade nos resultados apresentados em função da velocidade ou do horário.

5.1. Definição dos pesos de referência

Para obter os pesos reais dos veículos utilizados como referência, é necessário que sejam utilizados dispositivos de pesagem mais precisos do que os HS-WIM, e sejam realizadas pesagens repetitivas dos caminhões sobre esses sistemas, adotando-se o valor médio como uma tentativa de reduzir a influência de erros aleatórios da balança na estimativa dos pesos reais. As duas balanças utilizadas para a obtenção dos pesos de referência, apresentadas anteriormente, são a balança de baixa velocidade do Posto de Pesagem Veicular (PPV) de Terra de Areia/RS e a balança estática de plataforma da empresa Bendo Alimentos. A balança estática de plataforma é a mais precisa dentre os dispositivos utilizados no teste, pois consiste em uma plataforma na qual o caminhão é estacionado completamente sobre o sistema, e a massa do veículo é aferida em um ponto único de medição. A balança de baixa velocidade do PPV também é considerada de alta precisão, mas com uma menor precisão do que a balança estática. Porém, enquanto a balança de plataforma faz a pesagem do veículo inteiro em um único momento, a balança de baixa velocidade do PPV faz a pesagem eixo a eixo, permitindo que sejam obtidos os pesos de referência para cada eixo dos veículos.

No que diz respeito ao procedimento para a obtenção dos pesos de referência, primeiramente os pesos brutos totais registrados da balança estática foram registrados como referência. Após isso, os pesos por eixo registrados pelo PPV foram obtidos por meio de uma média das três passagens realizadas por cada veículo neste sistema, com o peso bruto total obtido do PPV tendo sido calculado como a soma dos pesos por eixo.

Na sequência, foram calculados os percentuais do peso total que correspondiam a cada eixo dos veículos, conforme os dados do PPV. Esses percentuais, então, foram aplicados ao PBT obtido pela balança estática, visando quantificar os pesos de referência por eixo de cada veículo. Assim, pode-se dizer que o peso total dos veículos foi obtido pela balança estática e a sua distribuição entre os eixos foi obtida a partir da média das pesagens realizadas no PPV.

Os resultados finais para os pesos de referência adotados são apresentados no Quadro 16.

Quadro 16 – Pesos de referência adotados para o cálculo dos erros

Balança	Classe	PBT (kg)	Eixo 1 (kg)	Eixo 2 (kg)	Eixo 3 (kg)	Eixo 4 (kg)	Eixo 5 (kg)	Eixo 6 (kg)
PPV – Terra de Areia	3C	21.780	7.973	7.973	5.833			
	2S3	39.000	5.852	11.210	4.122	6.815	11.001	
	3S3	42.820	6.515	8.153	8.095	5.071	6.797	8.189

Fonte: FAPEU (2023)

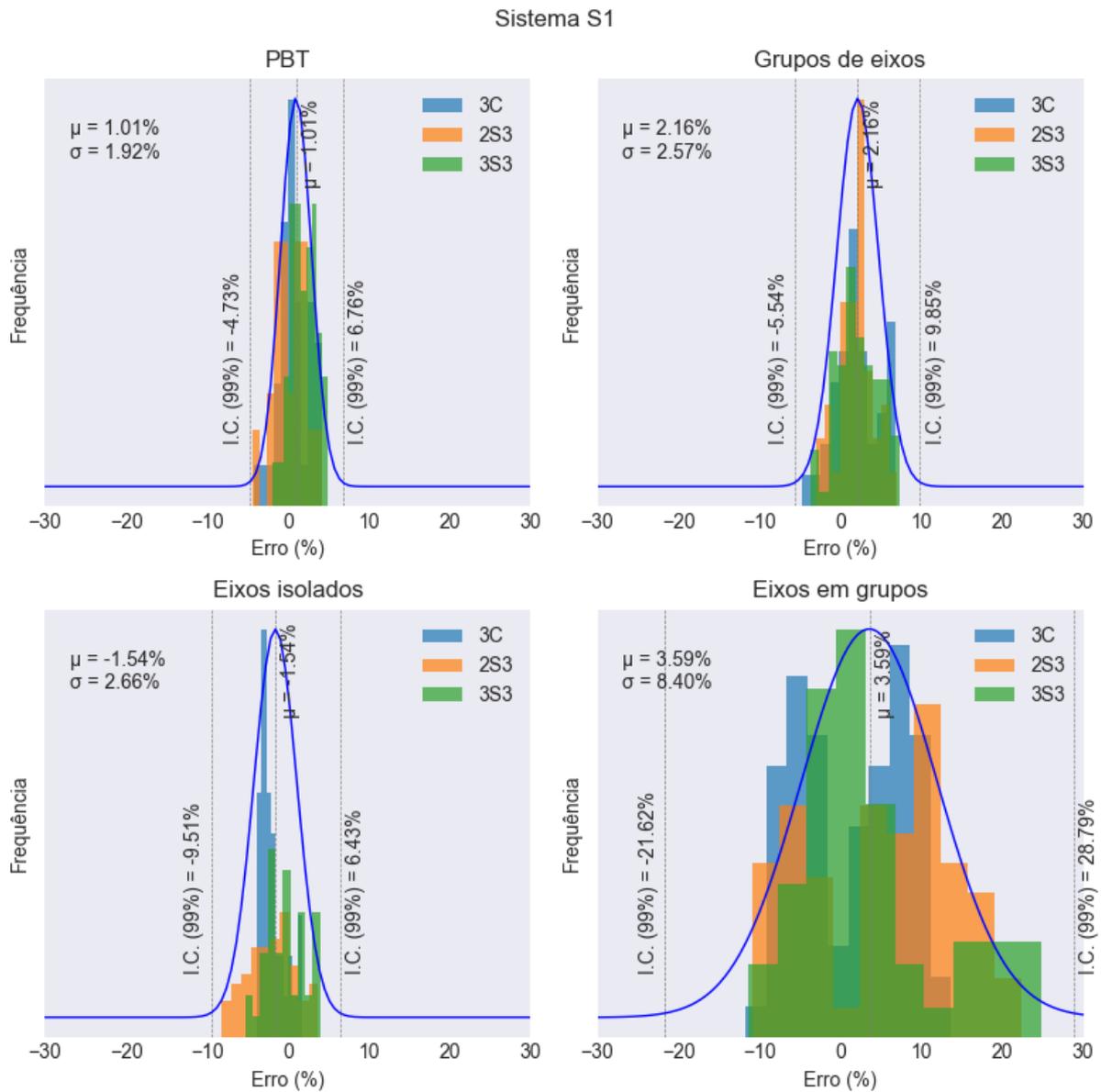
5.2. Erros observados nas amostras

A partir da comparação com os pesos de referência apresentados, os erros percentuais para cada registro de pesagem, $E_{\%}$, são calculados por meio da Equação (1).

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

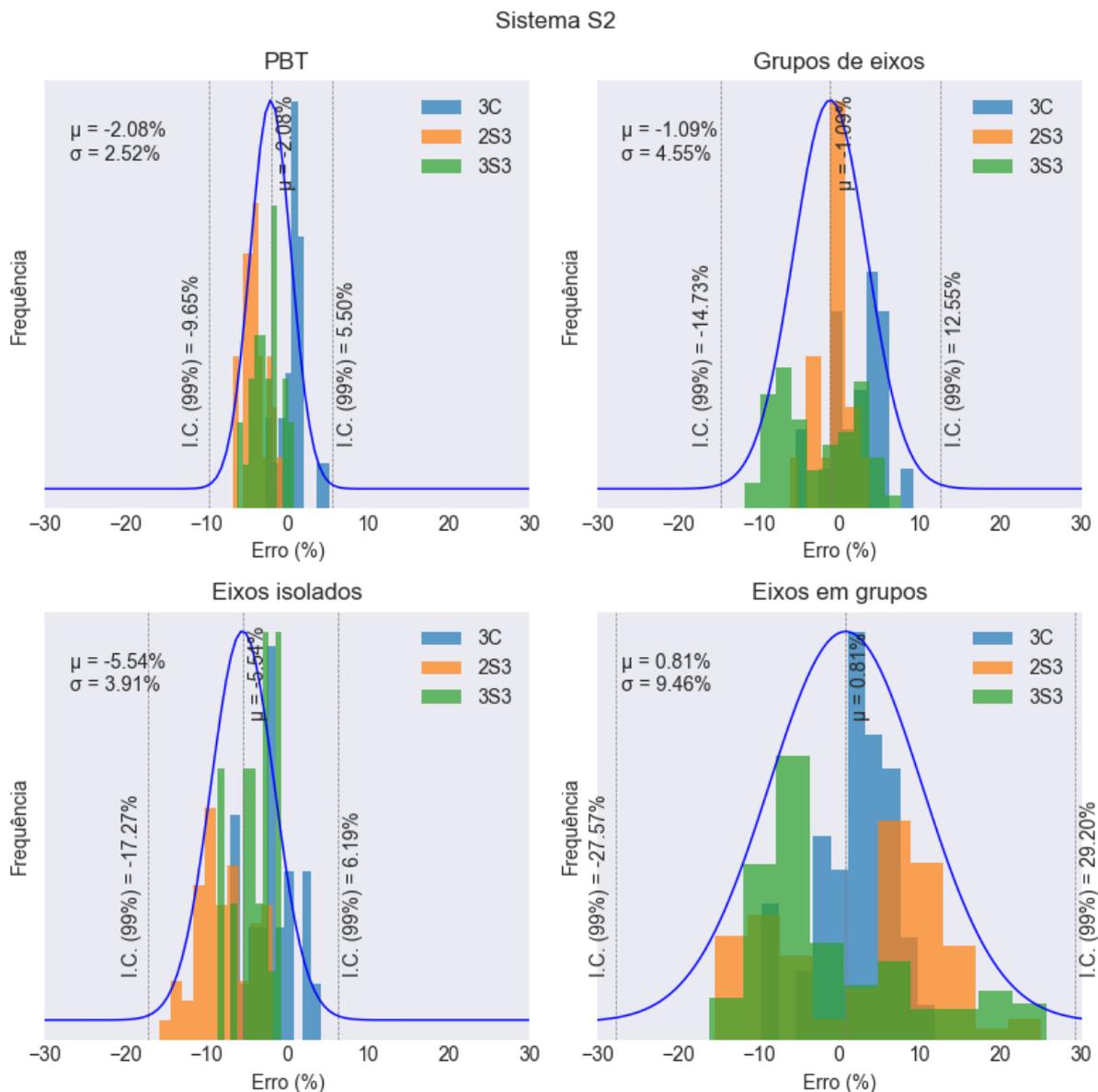
Com isso, os erros percentuais de cada sistema avaliado puderam ser calculados e as suas distribuições analisadas. As distribuições estatísticas dos erros observados para cada sistema e para cada tipo de medição (PBT, grupos de eixos, eixos isolados ou eixos em grupos) podem ser visualizadas na Figura 23, Figura 24 e Figura 25. Para verificar o desempenho dos sistemas, 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 26, Figura 27 e Figura 28.

Figura 23 – Distribuição dos erros percentuais observados no sistema S1



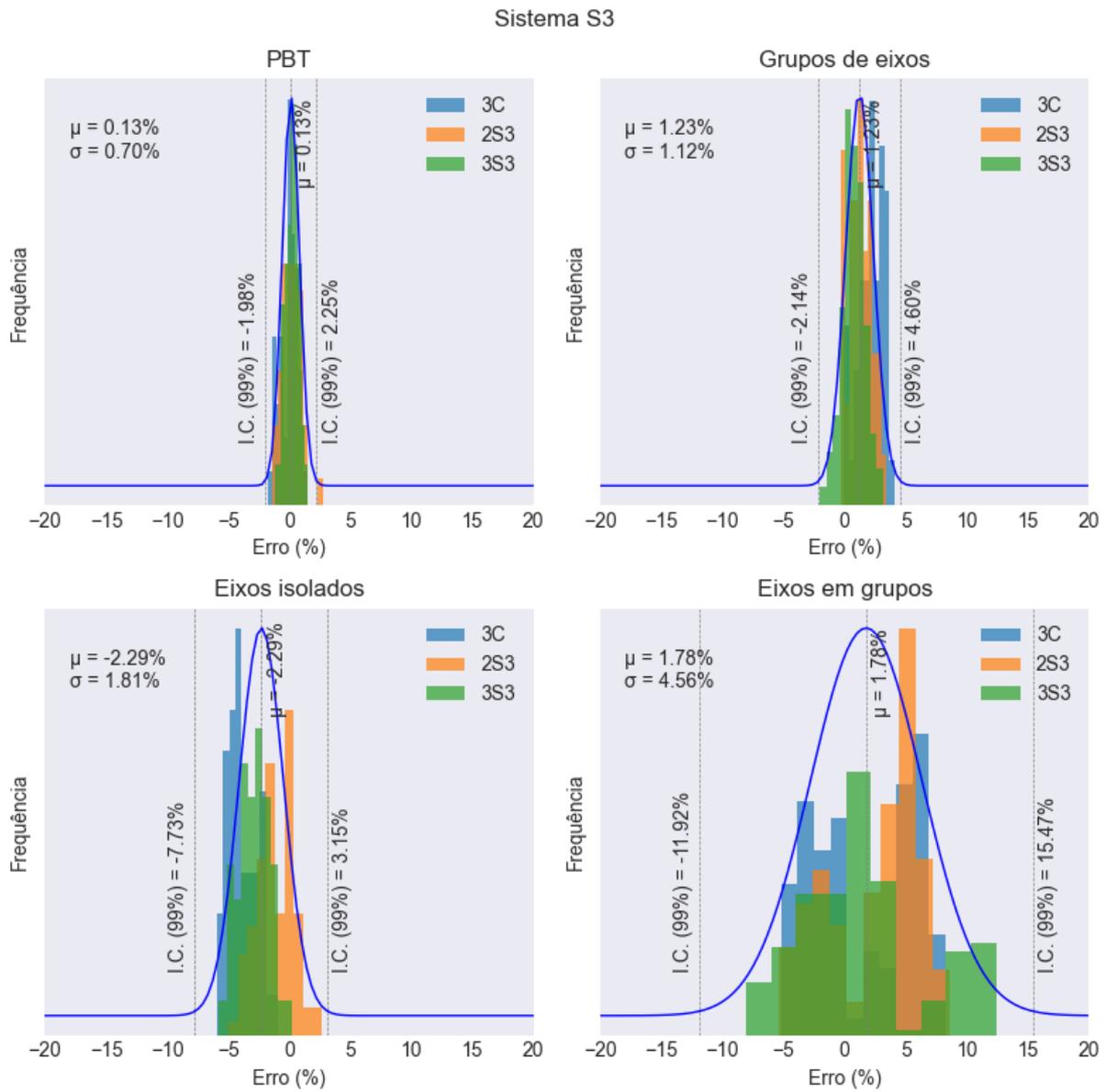
Fonte: FAPEU (2023)

Figura 24 – Distribuição dos erros percentuais observados no sistema S2



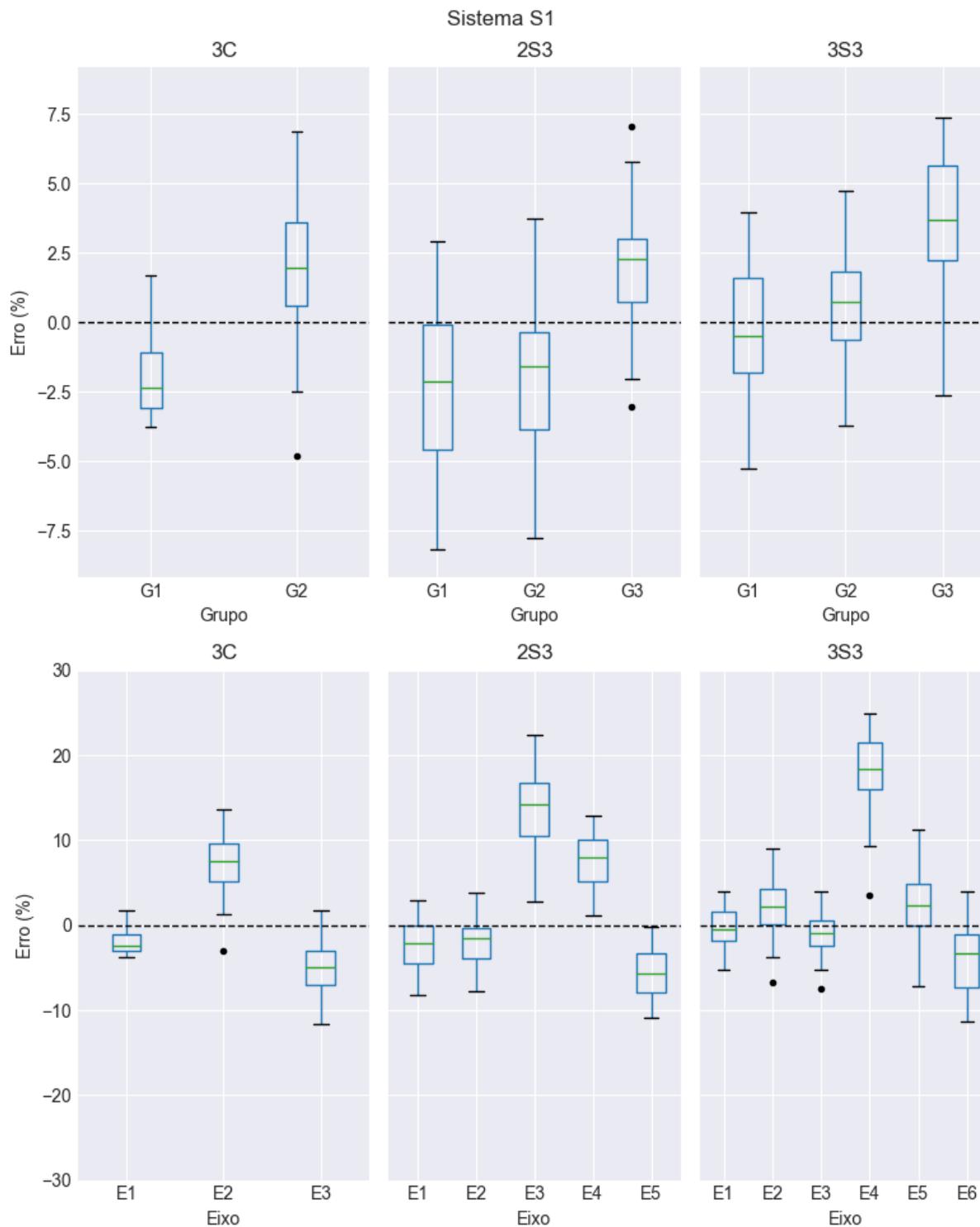
Fonte: FAPEU (2023)

Figura 25 – Distribuição dos erros percentuais observados no sistema S3



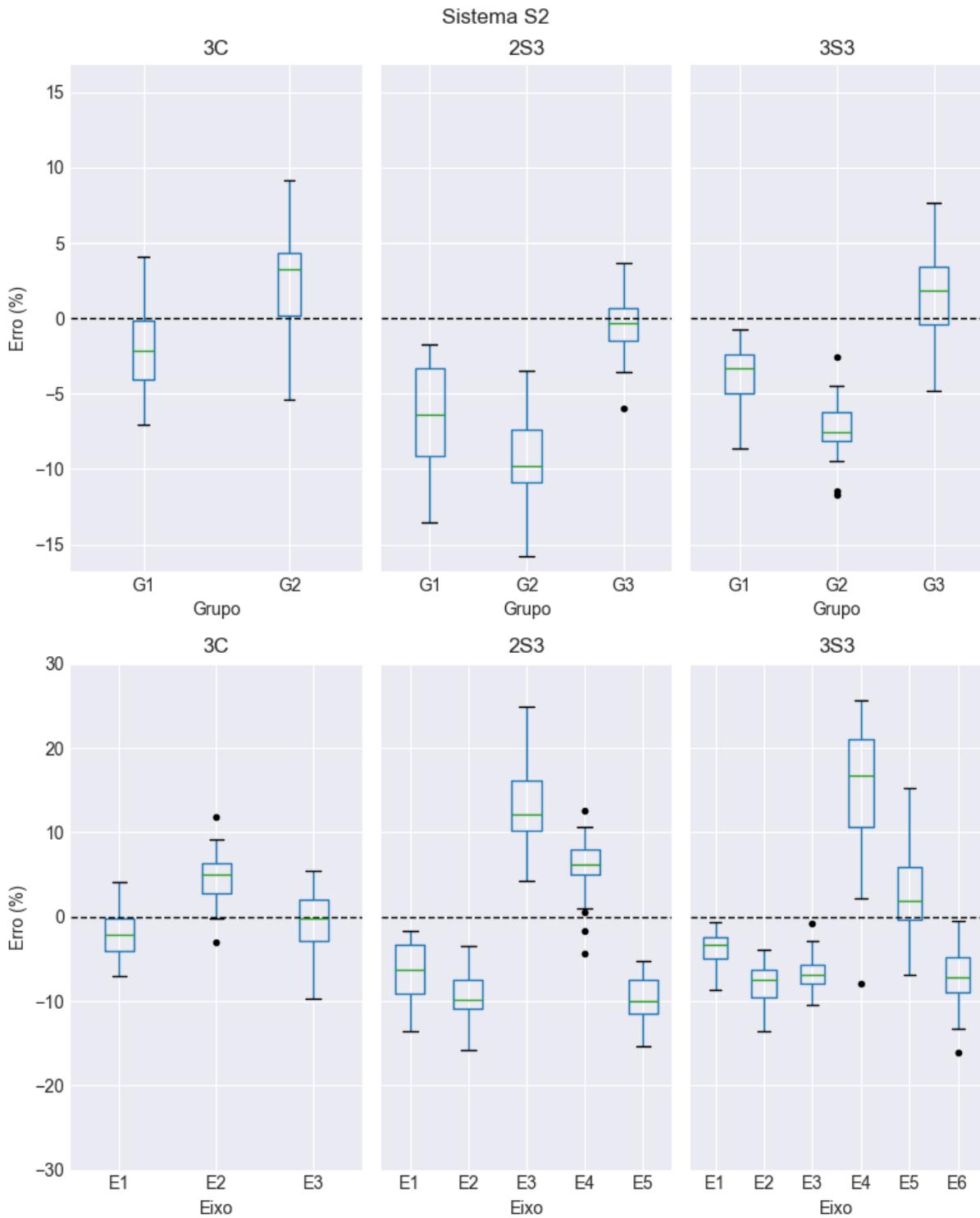
Fonte: FAPEU (2023)

Figura 26 – Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema S1



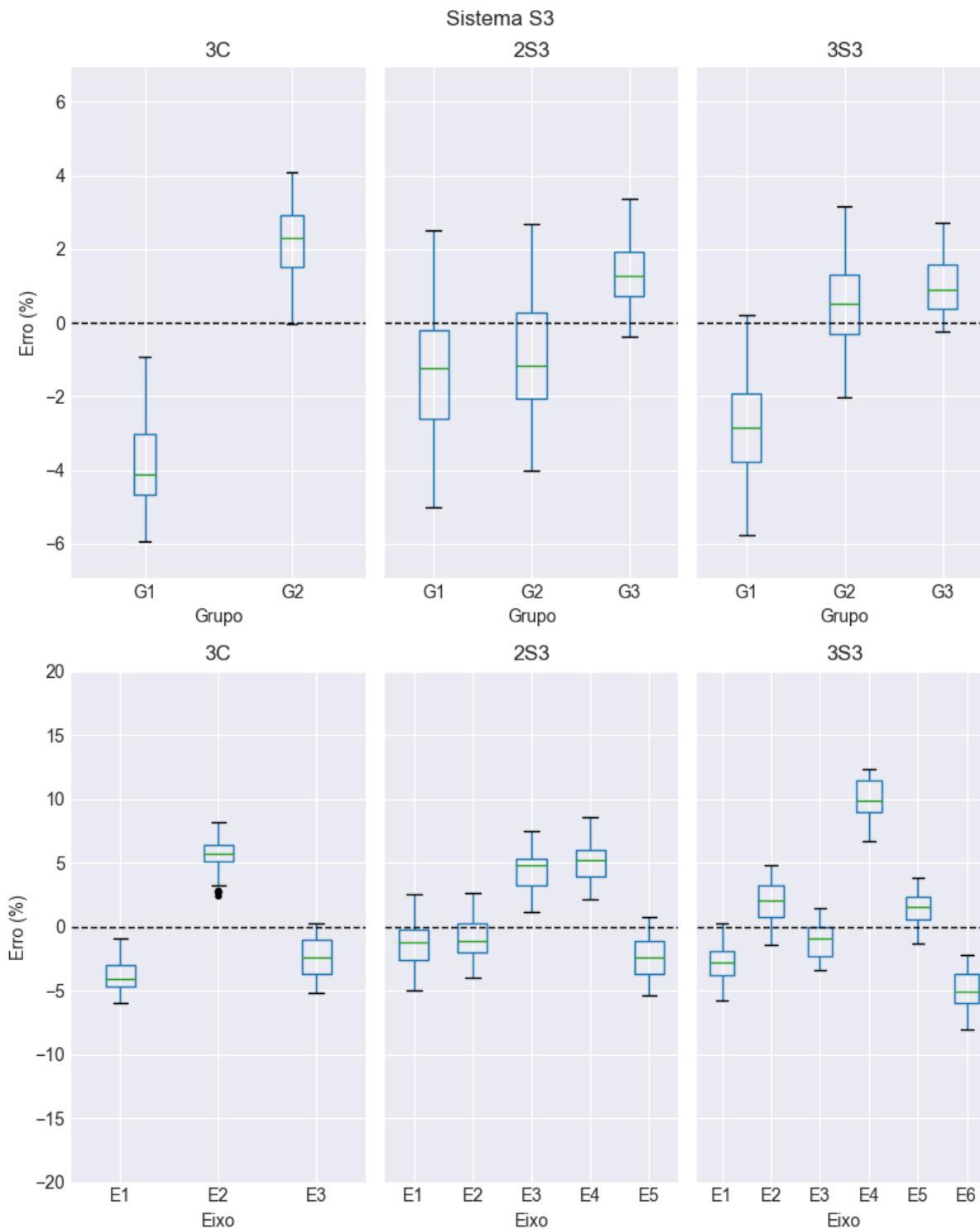
Fonte: FAPEU (2023)

Figura 27 – Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema S2



Fonte: FAPEU (2023)

Figura 28 – Distribuição dos erros por eixo e por grupo de eixo observados no sistema S3



Fonte: FAPEU (2023)

5.3. 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 determinadas de desempenho. Além disso, eles possuem dois limites diferentes para a situação de verificação inicial do sistema e supervisão metrológica. Para a coleta dos dados analisados, os veículos estavam inseridos no tráfego local, interagindo diretamente com os outros veículos da frota e com o tráfego durante o teste. Além disso, conforme explicado anteriormente, foi prescrito que os veículos realizassem variações da sua posição lateral durante a coleta de dados para teste. O objetivo de prescrever estas condições, além da viabilização do teste, foi para que o desempenho dos sistemas fosse simulado nas condições da fiscalização direta de peso, em que os veículos poderão passar sem controle de velocidade ou posição lateral. Em função dessas condições estabelecidas, os limites utilizados para a comparação com os documentos normativos foram os limites para a supervisão metrológica, e não os para verificação inicial.

Os limites estabelecidos no regulamento aprovado pela Portaria INMETRO nº 19/2022 e na recomendação OIML R 134-1 estão apresentados na Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32. As distribuições dos erros para cada sistema, em comparação com os limites do regulamento do INMETRO, estão apresentadas na Figura 33, Figura 34, e Figura 35. Os valores máximos e mínimos de cada gráfico permitem a verificação também dos limites da tabela OIML.

Figura 29 – Limites estabelecidos na recomendação OIML 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 30 – Limites estabelecidos na recomendação OIML 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 31 – Limites do regulamento estabelecido pela Portaria Inmetro nº 019/2022 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: Brasil (2022)

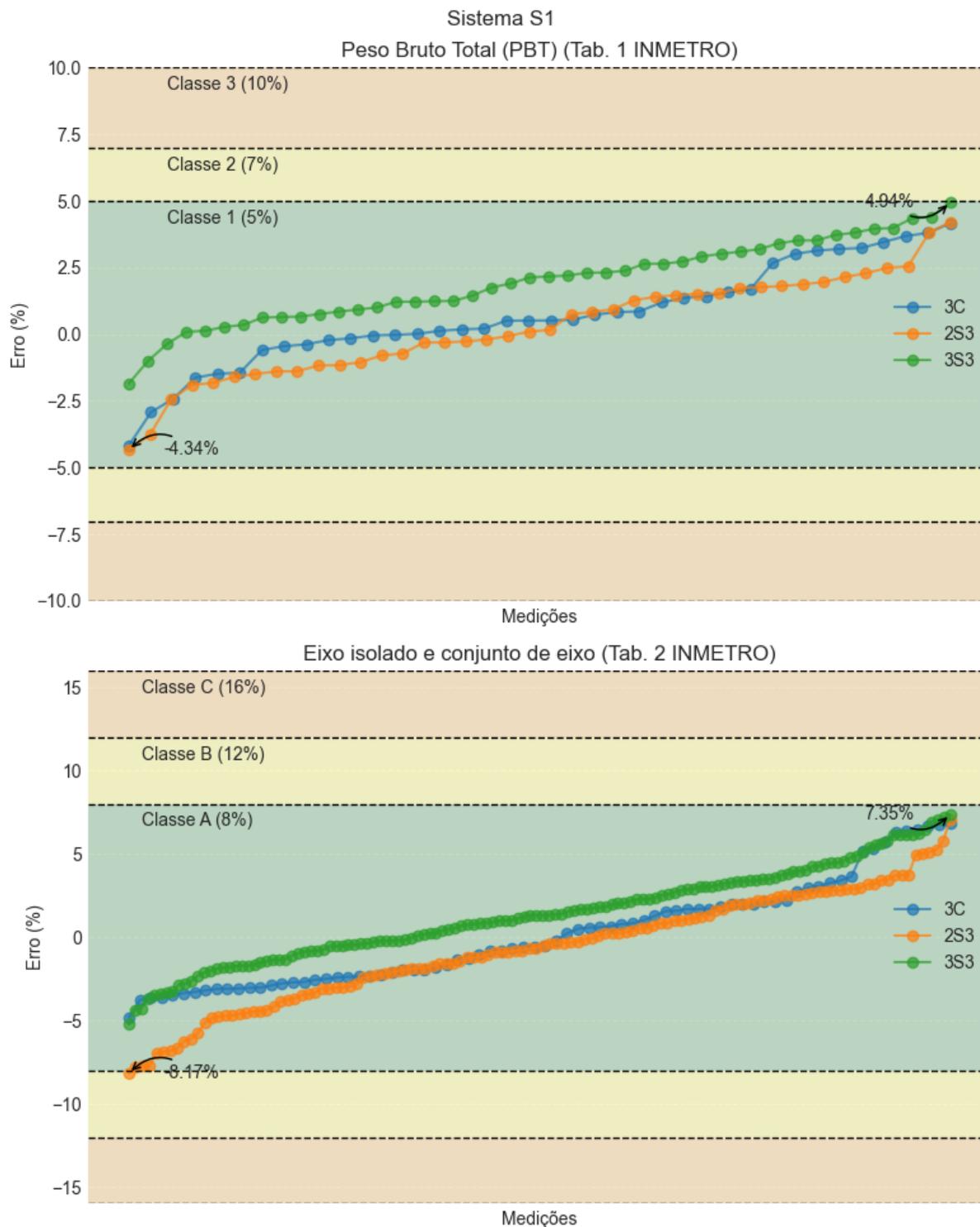
Figura 32 – Limites do regulamento estabelecido pela Portaria INMETRO nº 019/2022 para eixos e grupos de eixos

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%

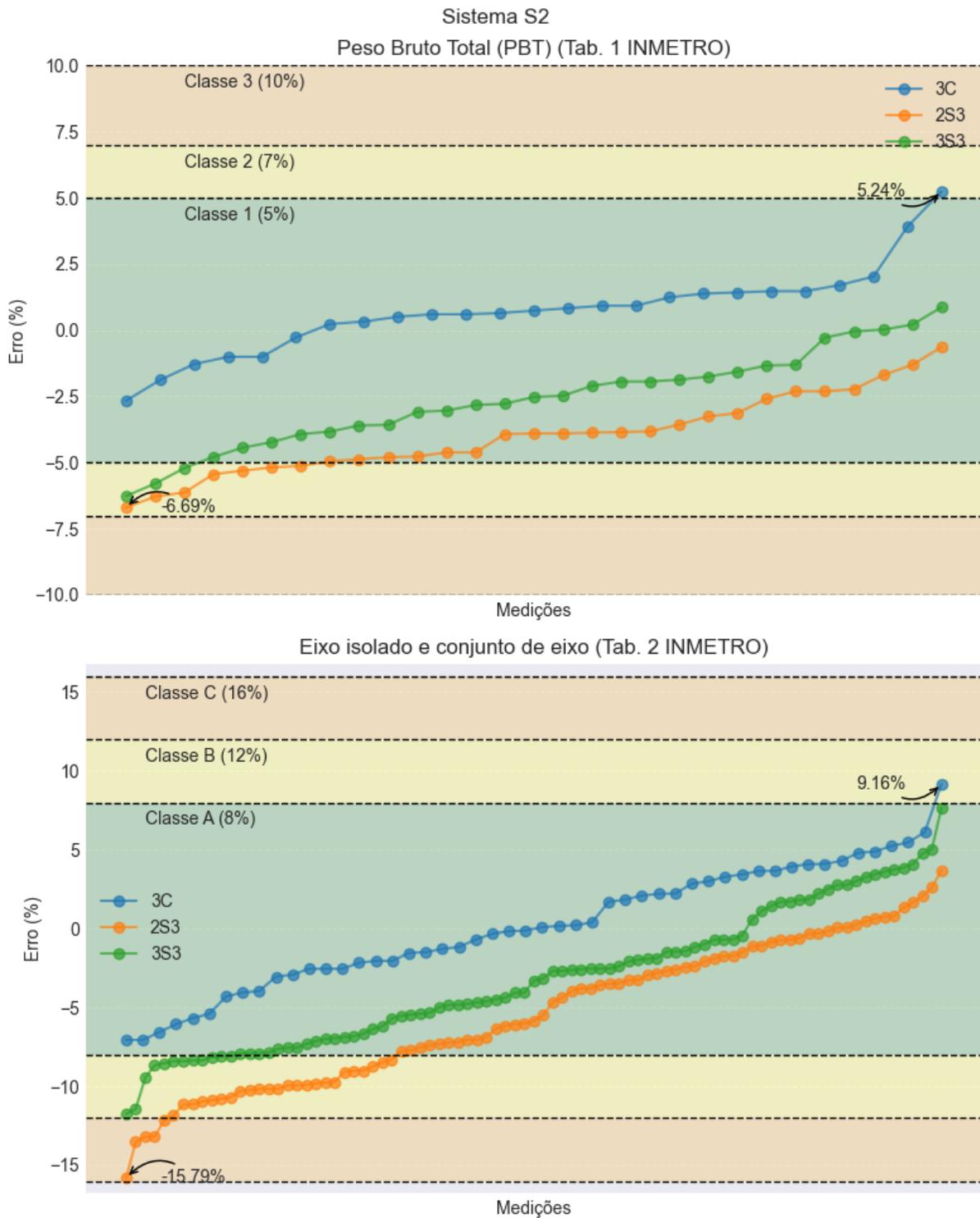
Fonte: Brasil (2022)

Figura 33 – Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema S1



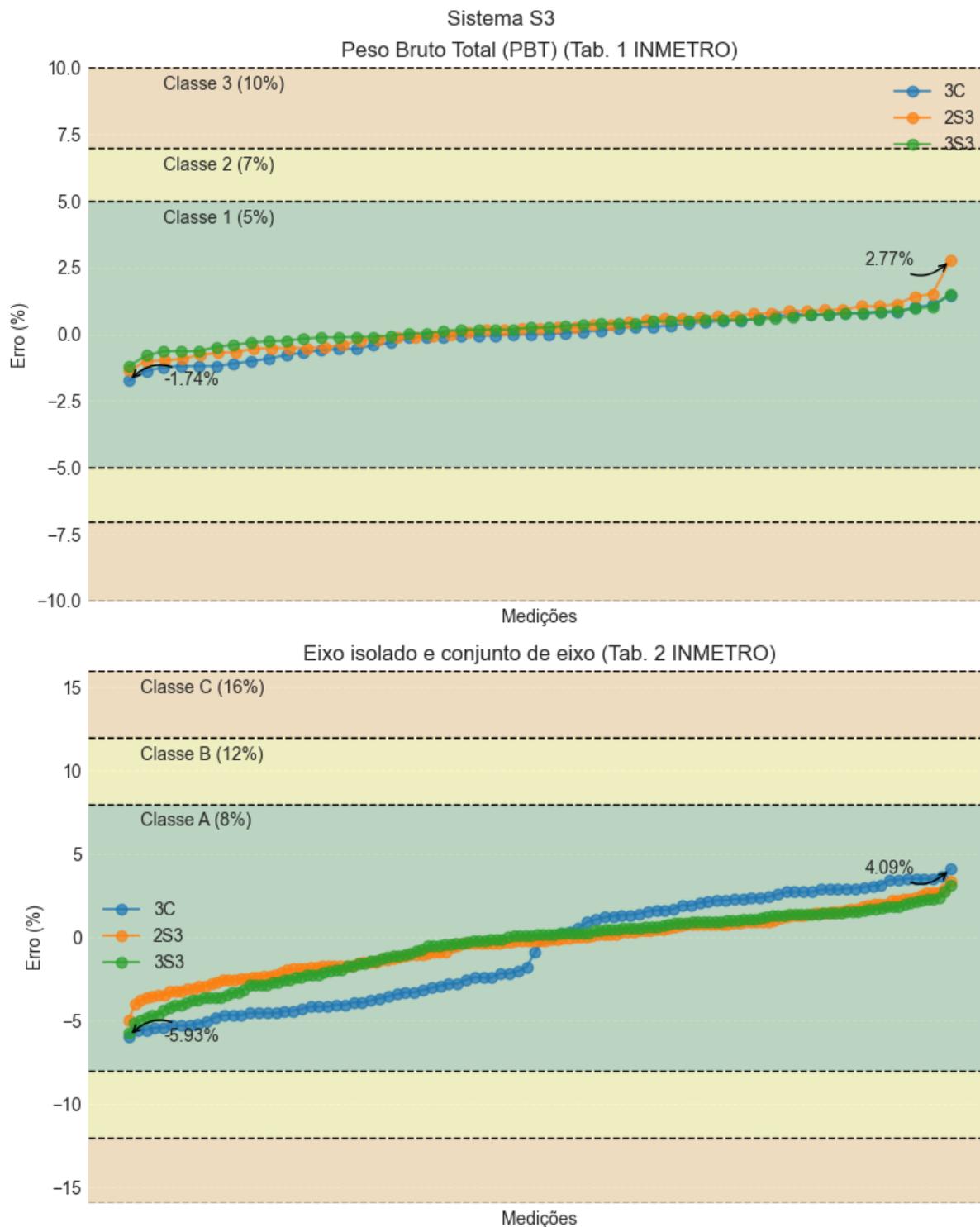
Fonte: Brasil (2022)

Figura 34 – Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema S2



Fonte: Brasil (2022)

Figura 35 – Distribuição dos erros em função dos limites do INMETRO para o sistema S3



Fonte: Brasil (2022)

5.3.1. 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 parêntesis 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 as classificações COST dos sistemas são apresentados na Figura 36, Figura 37 e na Figura 38.

Figura 36 – Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema S1

SYSTEM	Number	Identified	Mean	Std deviat	π_o	Class	δ	δ_{min}	δ_c	class	π	Accepted class
Entity		(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)		(%)	
gross weight	122	100,0	1,01	1,92	95,2	A(5)	5	4,7	4,7	5	96,8	
group of axles	166	100,0	2,16	2,57	95,5	A(5)	7,143	6,9	4,9	5	96,2	B(10)
single axle	162	100,0	-1,54	2,66	95,4	A(5)	8	6,5	4,0	5	98,7	
axle of group	416	100,0	3,59	8,41	96,0	B(10)	20	19,6	9,8	10	96,4	

Fonte: FAPEU (2023)

Figura 37 – Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema S2

SYSTEM	Number	Identified	Mean	Std deviat	π_o	Class	δ	δ_{min}	δ_c	π	Accepted class
Entity		(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)	
gross weight	83	100,0	-2,08	2,54	94,7	B+(7)	7	6,8	6,8	95,5	
group of axles	112	100,0	-1,09	4,57	95,1	B(10)	13	10,2	7,2	98,9	C(15)
single axle	112	100,0	-5,54	3,93	95,1	B(10)	15	12,8	8,4	98,6	
axle of group	282	100,0	0,81	9,48	95,8	C(15)	25	20,6	10,6	98,7	

Fonte: FAPEU (2023)

Figura 38 – Resultados obtidos na metodologia COST para o sistema S3

SYSTEM	Number	Identified	Mean	Std deviat	π_o	Class	δ	δ_{min}	δ_c	class	π	Accepted class
Entity		(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)		(%)	
gross weight	143	100,0	0,13	0,71	95,3	A(5)	5	1,6	1,6	5	100,0	
group of axles	191	100,0	1,23	1,13	95,6	A(5)	7,143	3,3	2,3	5	100,0	B+(7)
single axle	190	100,0	-2,29	1,82	95,6	A(5)	8	5,7	3,5	5	99,8	
axle of group	477	100,0	1,78	4,57	96,1	B+(7)	14	10,5	5,3	7	99,5	

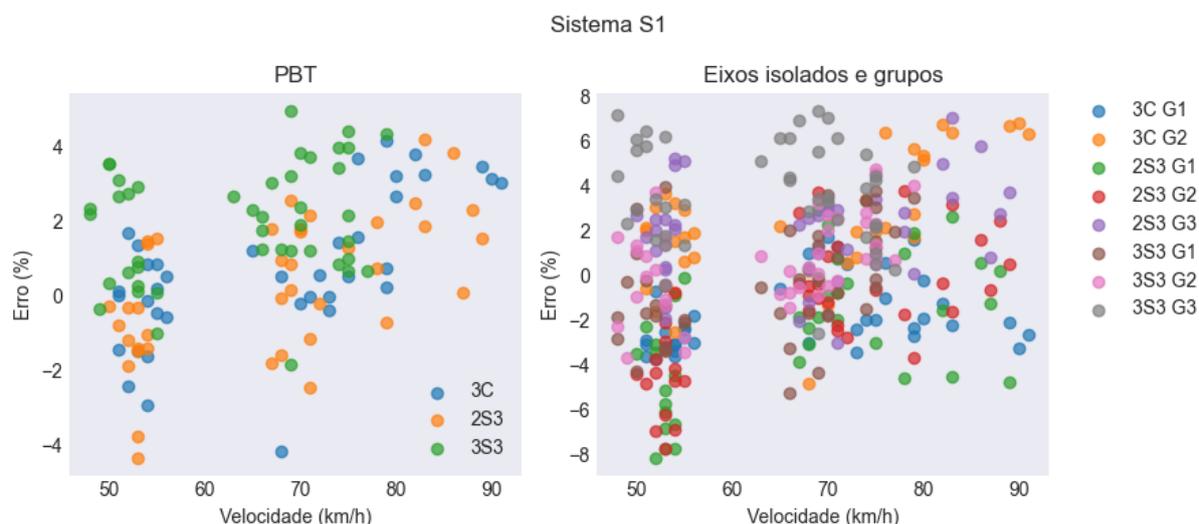
Fonte: FAPEU (2023)

5.4. Análise exploratória

Foram realizados estudos para investigar a correlação dos erros apresentados pelos sistemas 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

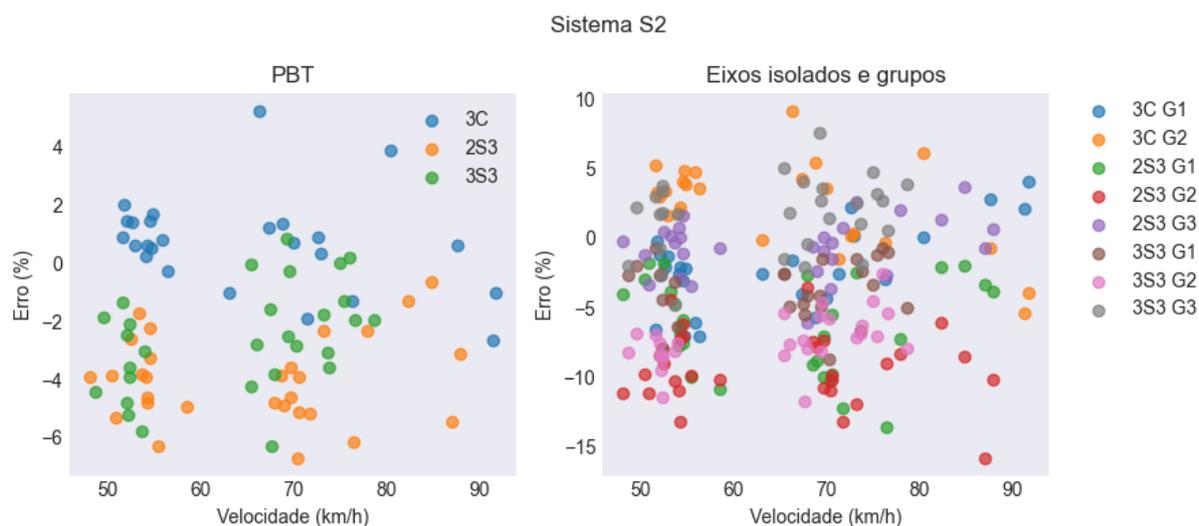
de dispersão dos erros em função das variáveis investigadas. Desta análise, não foram verificadas correlações ou problemas temporais na coleta dos dados, indicando que os sistemas não sofreram falhas ou erros sistemáticos no registro das passadas e que a velocidade dos veículos, dentro dos limites praticados para o teste, não influencia nos erros apresentados. Na Figura 39, é exibido um gráfico de dispersão de erros em função da velocidade aplicados para o sistema S1, da mesma forma aplicado para o sistema S2 na Figura 40.

Figura 39 – Dispersão de erros em função da velocidade para o sistema S1



Fonte: FAPEU (2023)

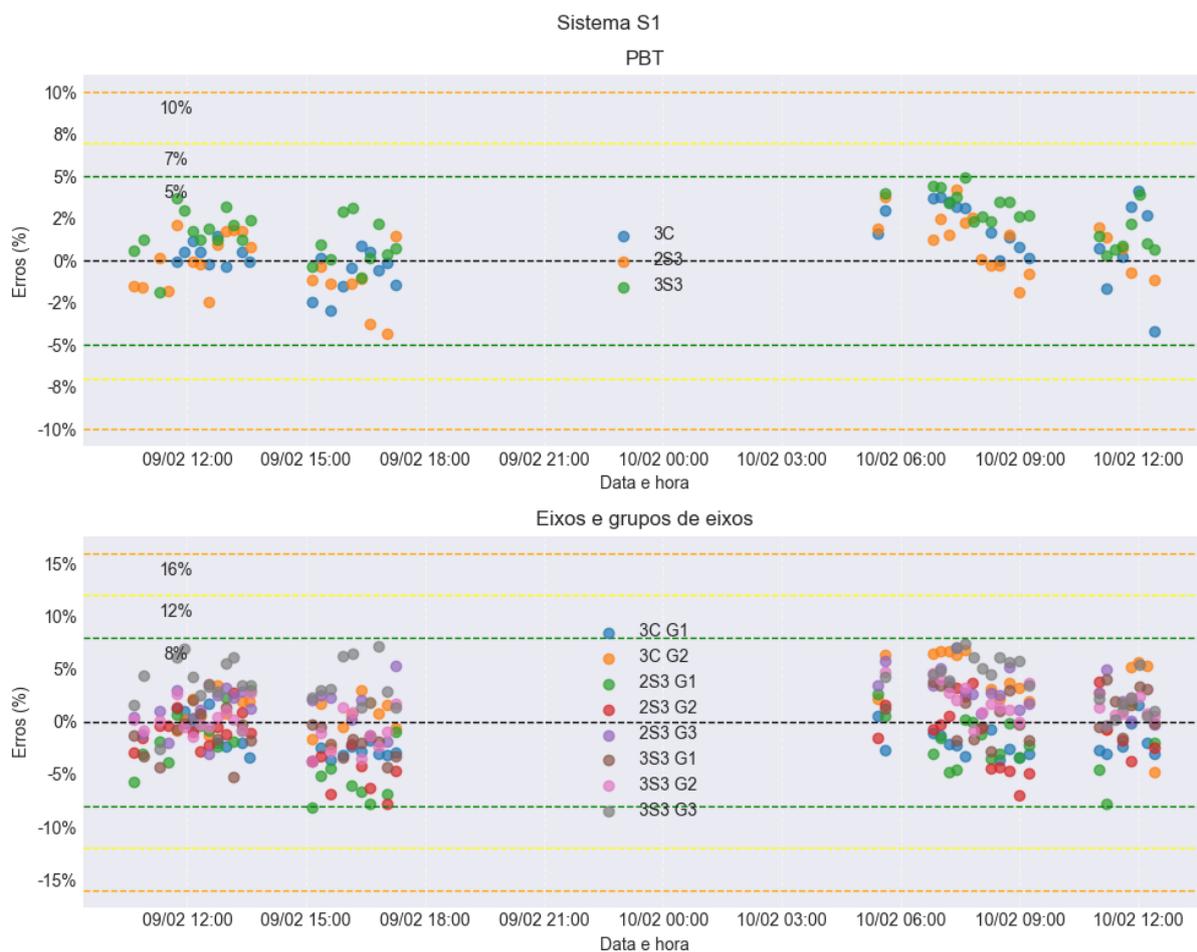
Figura 40 – Dispersão de erros em função da velocidade para o sistema S2



Fonte: FAPEU (2023)

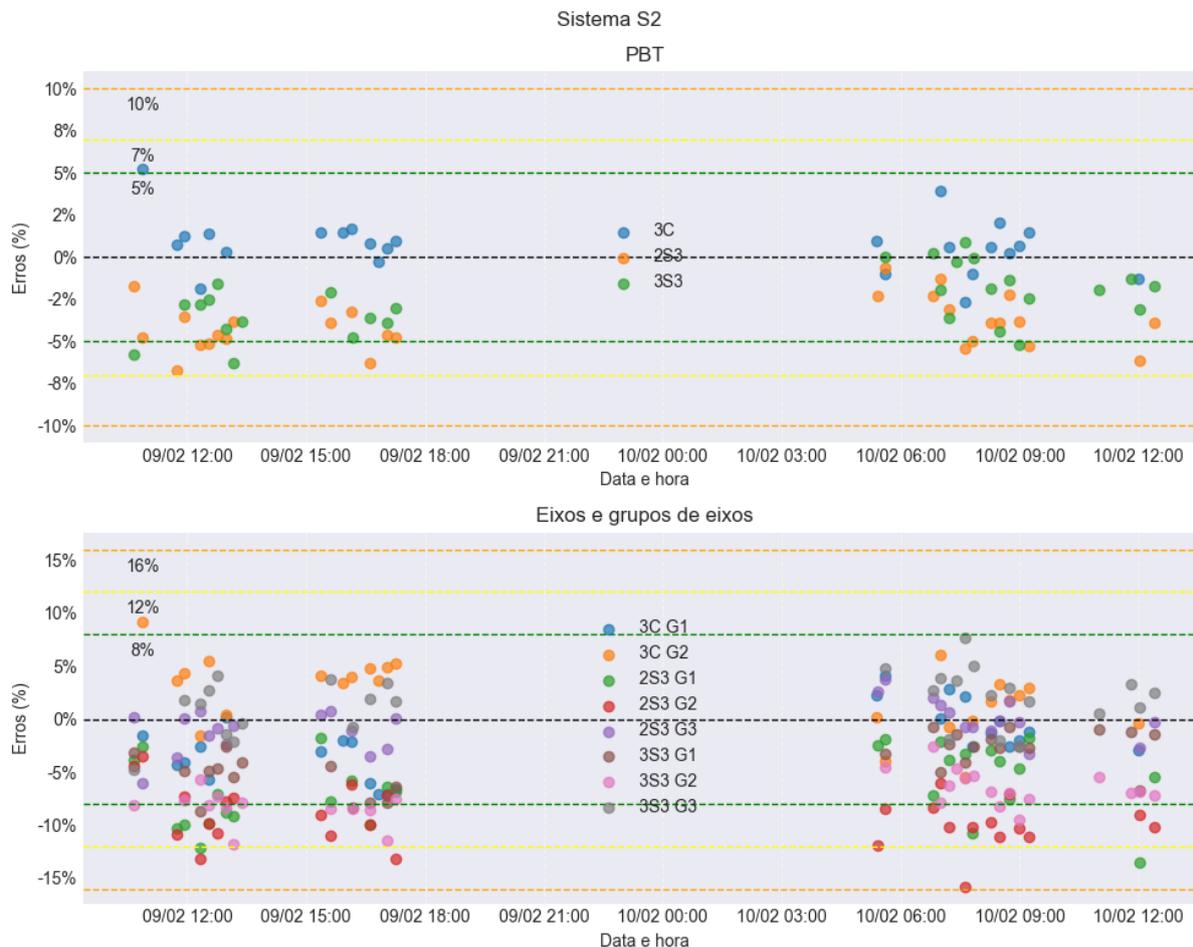
Nas figuras abaixo é mostrado os gráficos construídos de dispersão de erros em função do horário da coleta, aplicados para os sistemas S1 na Figura 41, S2 na Figura 42 e S3 na Figura 43.

Figura 41 – Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema S1



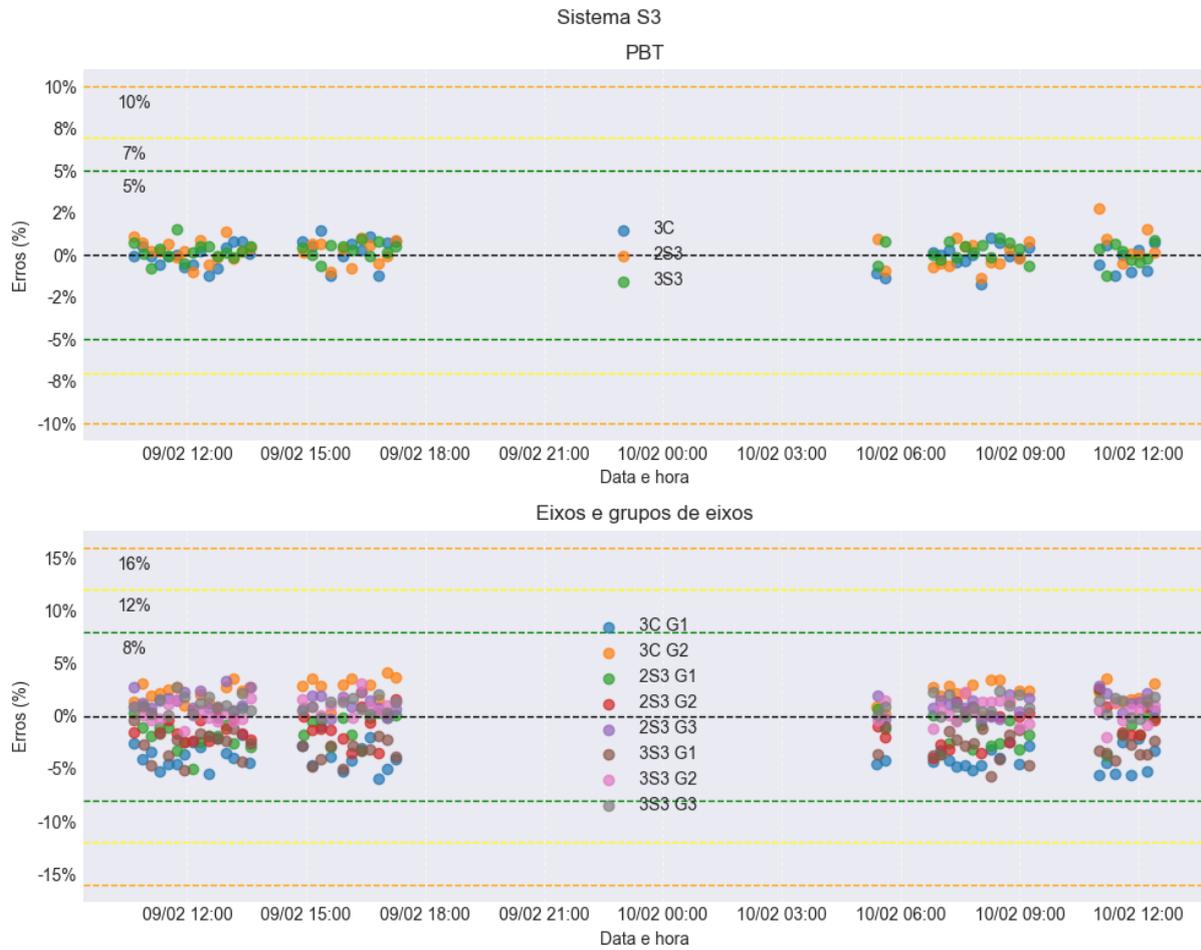
Fonte: FAPEU (2023)

Figura 42 – Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema S2



Fonte: FAPEU (2023)

Figura 43 – Dispersão de erros em função do horário da coleta para o sistema S3



Fonte: FAPEU (2023)

6. Análise dos Resultados dos Sistemas

Com base nos resultados apresentados no capítulo anterior, realiza-se uma análise do desempenho dos sistemas *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 com a promoção da fiscalização direta de peso no Brasil com equipamentos HS-WIM. Para esta finalidade, questiona-se se os sistemas HS-WIM estariam adequados para 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 uso dos equipamentos para esta finalidade.

Assim, visando dar uma visão geral dos resultados obtidos por cada sistema testado, conforme os resultados detalhados apresentados no capítulo anterior, apresenta-se no Quadro 17, Quadro 18 e no Quadro 19 um resumo dos resultados obtidos por cada sistema. Em seguida, no Quadro 20, Quadro 21 e no Quadro 22 apresenta-se um resumo das classificações obtidas nas três metodologias de avaliação adotadas, e, em seguida, realiza-se uma breve conclusão acerca dos resultados observados neste estudo.

Quadro 17 – Resumo dos resultados obtidos no sistema S1

Classe	Estatística	PBT	Grupos de eixo			Eixos					
			G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
3C	Contagem	38	38	38		38	38	38			
	Média	0,7%	-1,9%	2,2%		-1,9%	7,1%	-4,5%			
	Desv. Pad.	1,9%	1,6%	2,8%		1,6%	3,3%	3,3%			
	Mínimo	-4,2%	-3,8%	-4,8%		-3,8%	-3,0%	-11,7%			
	Máximo	4,2%	1,7%	6,8%		1,7%	13,7%	1,7%			
2S3	Contagem	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	Média	0,3%	-2,4%	-1,8%	2,0%	-2,4%	-1,8%	13,4%	7,6%	-5,7%	
	Desv. Pad.	1,9%	3,0%	3,0%	2,2%	3,0%	3,0%	5,0%	3,1%	2,9%	
	Mínimo	-4,3%	-8,2%	-7,8%	-3,0%	-8,2%	-7,8%	2,8%	1,1%	-10,9%	
	Máximo	4,2%	2,9%	3,8%	7,1%	2,9%	3,8%	22,4%	12,8%	-0,2%	
3S3	Contagem	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44
	Média	2,0%	-0,3%	0,7%	3,8%	-0,3%	2,2%	-0,9%	18,3%	2,2%	-3,9%

Classe	Estatística	PBT	Grupos de eixo			Eixos					
			G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
	Desv. Pad.	1,5%	2,4%	2,0%	2,3%	2,4%	3,2%	2,5%	4,5%	4,2%	4,0%
	Mínimo	-1,8%	-5,3%	-3,7%	-2,6%	-5,3%	-6,7%	-7,4%	3,6%	-7,1%	-11,4%
	Máximo	4,9%	4,0%	4,8%	7,4%	4,0%	9,0%	4,0%	24,9%	11,2%	3,9%

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 18 – Resumo dos resultados obtidos no sistema S2

Classe	Estatística	PBT	Grupos de eixo			Eixos					
			G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
3C	Contagem	25	25	25		25	25	25			
	Média	0,7%	-2,1%	2,4%		-2,1%	4,8%	-1,0%			
	Desv. Pad.	1,7%	3,1%	3,2%		3,1%	3,2%	4,4%			
	Mínimo	-2,7%	-7,1%	-5,4%		-7,1%	-3,1%	-9,7%			
	Máximo	5,2%	4,1%	9,2%		4,1%	11,9%	5,4%			
2S3	Contagem	29	29	29	29	29	29	29	29	29	
	Média	-4,0%	-6,3%	-9,3%	-0,6%	-6,3%	-9,3%	12,8%	5,8%	-9,6%	
	Desv. Pad.	1,5%	3,4%	2,7%	2,1%	3,4%	2,7%	4,5%	3,7%	2,5%	
	Mínimo	-6,7%	-13,5%	-15,8%	-6,0%	-13,5%	-15,8%	4,3%	-4,3%	-15,4%	
	Máximo	-0,6%	-1,7%	-3,5%	3,7%	-1,7%	-3,5%	24,9%	12,6%	-5,3%	
3S3	Contagem	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
	Média	-2,6%	-3,9%	-7,3%	1,6%	-3,9%	-8,0%	-6,6%	15,0%	2,3%	-7,3%
	Desv. Pad.	1,8%	2,4%	1,9%	2,7%	2,4%	2,5%	2,1%	7,9%	5,2%	3,9%
	Mínimo	-6,3%	-8,7%	-11,7%	-4,8%	-8,7%	-13,5%	-10,4%	-7,9%	-6,9%	-16,1%
	Máximo	0,9%	-0,7%	-2,6%	7,6%	-0,7%	-3,8%	-0,8%	25,6%	15,2%	-0,5%

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 19 – Resumo dos resultados obtidos no sistema S3

Classe	Estatística	PBT	Grupos de eixo			Eixos					
			G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
3C	Contagem	48	48	48		48	48	48			
	Média	0,0%	-3,9%	2,2%		-3,9%	5,6%	-2,4%			
	Desv. Pad.	0,8%	1,2%	1,0%		1,2%	1,5%	1,5%			
	Mínimo	-1,7%	-5,9%	0,0%		-5,9%	2,5%	-5,2%			
	Máximo	1,5%	-0,9%	4,1%		-0,9%	8,2%	0,3%			
2S3	Contagem	47	47	47	47	47	47	47	47	47	
	Média	0,2%	-1,4%	-0,9%	1,2%	-1,4%	-0,9%	4,4%	5,1%	-2,4%	
	Desv. Pad.	0,8%	1,5%	1,6%	0,9%	1,5%	1,6%	1,5%	1,4%	1,5%	
	Mínimo	-1,4%	-5,0%	-4,0%	-0,4%	-5,0%	-4,0%	1,2%	2,1%	-5,4%	
	Máximo	2,8%	2,5%	2,7%	3,4%	2,5%	2,7%	7,5%	8,6%	0,8%	
3S3	Contagem	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48
	Média	0,2%	-2,9%	0,5%	1,0%	-2,9%	2,0%	-1,0%	10,0%	1,5%	-4,9%

Classe	Estatística	PBT	Grupos de eixo			Eixos					
			G1	G2	G3	E1	E2	E3	E4	E5	E6
	Desv. Pad.	0,5%	1,3%	1,0%	0,8%	1,3%	1,5%	1,4%	1,6%	1,3%	1,5%
	Mínimo	-1,2%	-5,8%	-2,0%	-0,2%	-5,8%	-1,4%	-3,4%	6,7%	-1,3%	-8,1%
	Máximo	1,5%	0,2%	3,2%	2,7%	0,2%	4,9%	1,4%	12,4%	3,9%	-2,2%

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 20 – Classes de desempenho atingidas pelo sistema S1

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

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 21 – Classes de desempenho atingidas pelo sistema S2

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

Fonte: FAPEU (2023)

Quadro 22 – Classes de desempenho atingidas pelo sistema S3

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

Fonte: FAPEU (2023)

6.1. Discussão dos resultados

A partir dos resultados apresentados até agora, verifica-se que os três sistemas HS-WIM comerciais, instalados no sítio de pesquisas de Araranguá/SC, possuem desempenho satisfatório para a aferição dos pesos dos veículos em alta velocidade. Para a aferição do Peso Bruto Total (PBT), o sistema S1 apresentou erro máximo de 4,9%, o sistema S2 erro máximo de 6,7% e o sistema S3 erro máximo 2,8%. Para os eixos isolado ou grupos de eixos, o sistema S1 apresentou erros menores que 8,2%, o sistema S2 apresentou erros menores que 15,8% e o sistema S3 apresentou erros menores que 5,9%.

O sistema S2 apresentou inconsistência no registro dos eventos, coletando aproximadamente metade das passagens dos veículos de referência. Este fato também foi observado durante a calibração do sistema, acarretando no detrimento da correção do erro sistemático. A falha na identificação dos eventos durante a calibração foi mais acentuada nos veículos com mais eixos, o que pode ser observado pelo deslocamento negativo da amostra de teste dos eventos de veículos com cinco e seis eixos, que consta no gráfico de PBT apresentado na Figura 42.

Em um cenário de supervisão metrológica, conforme o regulamento técnico no Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), os três sistemas estariam aprovados para as classes 1B, 2C e 1A, respectivamente. O primeiro algarismo arremete ao erro máximo de PBT, sendo $\pm 5\%$, $\pm 7\%$ para as classes 1 e 2, respectivamente. As siglas “A”, “B” e “C” são, respectivamente, erros máximos para eixos isolados ou grupos de eixos, sendo $\pm 8\%$, $\pm 12\%$ e $\pm 16\%$. Ressalta-se, no entanto, que para a verificação inicial do sistema, as condições do teste seriam mais controladas, provavelmente reduzindo os erros máximos. Portanto, não se pode afirmar se essas seriam as classes obtidas na aprovação inicial dos

sistemas. Ressalta-se que, dentre os sistemas, o S1 é o mais novo, tendo menos de um ano de instalação, o S2 e o S3 possuem mais tempo de instalação, conforme apresentado no capítulo anterior.

A classificação pelo método da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML), de forma semelhante à metodologia implementada pelo INMETRO, caracteriza o sistema de pesagem em movimento por PBT e eixos isolados ou em grupos de eixos. Os sistemas de pesagem alcançaram, respectivamente, as classes 5F, 10F e 5E, quando avaliados por inspeção em serviço. O primeiro algarismo da classificação arremete ao erro máximo de PBT, sendo considerado o número apresentado como o erro máximo, com o número “5” sendo referente a $\pm 5\%$, por exemplo. Já a letra “E” da classificação está contida em $\pm 8\%$ de erro máximo para eixos isolados ou em grupo de eixos, e a letra “F” contendo $\pm 16\%$ de erro máximo.

Pela especificação da COST, os sistemas atingiram as classes B(10), C(15) e B+(7), respectivamente. Porém, a COST não distingue em classificação para aprovação inicial ou em supervisão metrológica, e não classifica o sistema pela classe mais inferior obtida em um dos parâmetros de análise. O critério da COST é o mais rigoroso entre os métodos, pois usa a pesagem de um eixo como parâmetro para classificação. É importante ressaltar que a fiscalização de peso no Brasil considera o PBT e os eixos isolados ou em grupos de eixos para cálculo das penalidades. Caso a COST adotasse o critério semelhante ao OIML e o INMETRO, os sistemas estariam classificados em classes superiores. Por fim, é importante ressaltar que a COST é a metodologia mais antiga utilizadas nessas análises, sendo esta publicada em 1999.

7. Considerações Finais

Este documento teve por objetivo realizar a avaliação do desempenho dos sistemas *High Speed Weigh-In-Motion* (HS-WIM) instalados no sítio de pesquisa de Araranguá/SC. Para a coleta de dados, foram utilizados veículos de referência alugados e com peso conhecido, aferidos em balanças certificadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). A avaliação atendeu aos objetivos da atividade, apresentando resultados de desempenho dos sistemas, sendo referente aos erros de pesagem obtidos, verificando o peso bruto total, peso por grupo de eixos isolados e grupos de eixos. Os sistemas também foram avaliados utilizando critérios de classificação do INMETRO, da *European Cooperation in Science and Technology* (COST) e da Organização Internacional de Metrologia Legal (OIML). O presente produto estava previsto na Ação 5 – Estudos e Pesquisas Aplicadas Visando a Modernização da Fiscalização e Monitoração Rodoviária com Equipamentos de Pesagem em Alta Velocidade Utilizando o sítio de pesquisas Instalado em Araranguá/SC, prevista no plano de trabalho de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT).

Com a avaliação dos sistemas instalados no sítio de pesagem em movimento de Araranguá/SC, foram levantados dados sobre o desempenho dos mesmos. O resultado mais relevante deste produto foi gerado por meio dos limites estabelecidos no regulamento aprovado pela Portaria INMETRO nº 19/2022, considerando os parâmetros para a supervisão metrológica de sistemas de pesagem em movimento para a fiscalização direta de peso. Em condições mais rigorosas que ao teste do INMETRO, os três sistemas comerciais obtiveram um bom desempenho, obtendo classificação 1A, 1B e 2C quando avaliados pelos parâmetros de supervisão meteorológica. Foi apresentado, também, a classificação dos sistemas utilizando os padrões internacionais OIML e COST 323. Na classificação pelo método do OIML, foi possível obter classes 5F, 10F e 5E quando avaliados por inspeção em serviço. Para a classificação por meio das especificações da COST, os sistemas atingiram classes B(10), C(15) e B+(7).

Foi observado nas análises que os sistemas de pesagem não sofreram influência direta sobre a velocidade dos veículos, considerando que os testes ocorreram em velocidades variadas de 50 km/h a 90 km/h. Nas próximas etapas, será verificada a repetibilidade dos sistemas e, a partir da verificação de possibilidade, serão avaliadas as velocidades diferentes em relação à testada neste produto.

O procedimento de coleta de dados realizado neste produto será feito em um momento posterior. Os resultados dessa segunda rodada com caminhões alugados e com peso

conhecido será apresentado no Produto 6 (II). A avaliação dos dados coletados será apresentada da mesma forma que a realizada no presente produto, a fim de verificar a repetibilidade dos sistemas ao longo do tempo. Em paralelo, será feita a coleta de dados com veículos da frota, visando comparar com a balança de referência presente no Posto de Pesagem Veicular de Araranguá/SC. O posto de pesagem está situado próximo e a jusante dos sistemas HS-WIM. A avaliação dos dados obtidos com veículos da frota será semelhante à realizada no presente produto e acontecerá em duas partes, no Produto 7 (I e II).

REFERÊNCIAS

BRASIL. 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**. Brasília/DF: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-19-de-12-de-janeiro-de-2022-375564556>. Acesso em: 26 jul. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA – INMETRO. **Norma de verificação de instrumentos automáticos de pesagem de veículos rodoviários: NIT-SEMAS-002**. Rio de Janeiro, 2017. 18 p. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/pesquisa_link.asp?seq_tipo_documento=4&cod_uo_numero=00874&num_documento=002. Acesso em: 26 jul. 2023.

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

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, 81p. 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