

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**

**Relatório Final**

Novembro de 2024



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

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

**Concessionária Catarinense de Rodovias S.A. – CCR Via Costeira**

Rua Silvio Burigo, 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 – Cronograma físico financeiro .....	12
Figura 2 – Vista aérea do sítio de pesquisa de tecnologias HS-WIM em Araranguá/SC.	13
Figura 3 – Sítio de Pesquisa de HS-WIM de Araranguá/SC e seus componentes.....	14
Figura 4 – Localização do prédio administrativo e do castelo d’água no PPV de Araranguá/SC .....	18
Figura 5 – <i>Layout</i> do centro de pesquisa no espaço do castelo d’água.....	19
Figura 6 – Histórias de usuário para o <i>software</i> de armazenamento, de análise e de apresentação de dados do sítio de pesquisas de Araranguá/SC .....	20
Figura 7 – Protótipo conceitual para a tela de cobertura temporal dos dados coletados pelos sistemas de pesagem de Araranguá/SC .....	21
Figura 8 – Protótipo conceitual de tela de acompanhamento de pesagens em tempo real .....	21
Figura 9 – Tela de cobertura temporal dos dados dos sistemas de pesagem instalados em Araranguá/SC.....	22
Figura 10 – Tela de consulta ao histórico de pesagem dos sistemas .....	23
Figura 11 – Exemplo de visualização do projeto tipo, elaborado para os sistemas de pesagem em movimento para fiscalização direta .....	25
Figura 12 – HS-WIM para fiscalização direta em operação na República Tcheca .....	29
Figura 13 – Sistema HS-WIM para fiscalização direta na Hungria .....	29
Figura 14 – Detalhe da solução HS-WIM do projeto-tipo do sistema de fiscalização direta .....	33
Figura 15 – Ilustração da estrutura do sensor Cross OptiWIM.....	35
Figura 16 – Ilustração do perfil de tensões obtido pelo sensor Cross OptiWIM .....	35
Figura 17 – Ilustração da estrutura do sensor Kistler <i>Lineas Digital</i> .....	36
Figura 18 – Ilustração do perfil de tensões obtido pelo sensor Kistler <i>Lineas Digital</i> ....	36
Figura 19 – Instalação e substituição sensores Consilux em Araranguá/SC.....	38
Figura 20 – Instalação sistema CAMEA em Araranguá/SC.....	39
Figura 21 – Fluxograma do modelo de integração de dados.....	41
Figura 22 – Visão geral da topologia de rede de equipamentos no sítio de pesquisa ...	43

Figura 23 – Servidor para banco de dados instalado no sítio de pesquisas (abrigo da PCCA)	43
Figura 24 – Percurso para realizar uma volta pelos sistemas de pesagem	48
Figura 25 – Classes selecionadas para a calibração dos sistemas de Araranguá/SC	48
Figura 26 – Posições de passagem sobre os sensores	49
Figura 27 – Exemplo de adesivo utilizado para identificação dos veículos de teste	50
Figura 28 – Exemplo do registro de dados coletados pelos sistemas comerciais	51
Figura 29 – Encontro na Embaixada Brasileira em Praga, República Tcheca	55
Figura 30 – Reunião na Embaixada Brasileira em Haia, Holanda	55
Figura 31 – Visita de representantes da SUFIS e da concessionária ao sítio de pesquisas de Araranguá/SC	56
Figura 32 – Visita de representantes da Diretoria da ANTT ao sítio de pesquisas de Araranguá/SC	57
Figura 33 – Demonstração do resultado dos sistemas durante visita da diretoria da ANTT	57
Figura 34 – Visita dos representantes das entidades brasileiras no sítio de pesquisa de Araranguá	58
Figura 35 – Representação 3D da EI	61
Figura 36 – Representação 3D do PCBE	61
Figura 37 – Representação 3D do PCCA	62
Figura 38 – Visão conceitual do PPV	62

## Lista de Quadros

Quadro 1 – Normativos passíveis de alteração para implementação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM.....	30
Quadro 2 – Itens passíveis de revisão na Resolução nº 459/2015 do CONTRAN (agente remoto).....	30
Quadro 3 – Itens passíveis de revisão na Portaria nº 870/2010, do DENATRAN (foto-fuga) .....	31
Quadro 4 – Campos do objeto JSON para inserção de registros pela API .....	44
Quadro 5 – Campos do objeto JSON para consulta de registros por meio da API .....	45
Quadro 6 – Exemplo de programação diária para a calibração dos sistemas .....	46

## Sumário

1. Descrição do Projeto .....	7
1.1. Título do Projeto .....	7
1.2. Resumo .....	7
1.3. Palavras-chave .....	8
1.4. Justificativa .....	8
1.5. Objetivos.....	10
1.5.1. Objetivo geral.....	10
1.5.2. Objetivos específicos .....	10
1.6. Organização do trabalho .....	11
1.7. Período de execução.....	11
1.8. Cronograma de execução .....	11
1.9. Local de execução.....	13
1.10. Equipe executora .....	14
2. Métodos e Técnicas Utilizadas.....	16
3. Ação 1 – Concepção e Implementação do Centro de Pesquisas em Araranguá .....	18
3.1. Atividade 1.1 – Concepção da infraestrutura do centro de pesquisa .....	18
3.2. Atividade 1.2 – Implementação da infraestrutura necessária para o centro de pesquisa .....	19
3.3. Atividade 1.3 – Concepção de ferramenta computacional de apresentação e armazenamento de dados .....	19
3.4. Atividade 1.4 – Implementação de ferramenta computacional de apresentação e armazenamento de dados do centro de pesquisa .....	22
4. Ação 2 – Proposição de Requisitos e Projetos-Tipo e Elaboração de Minuta de Normativo Para o Projeto de Sistemas de Fiscalização Direta de Peso .....	24
4.1. Atividade 2.1 – Proposição de requisitos para o projeto de sistemas de fiscalização direta de peso .....	24
4.2. Atividade 2.2 – Elaboração de minuta de documento regulatório estabelecendo os requisitos propostos para o projeto dos sistemas de fiscalização direta de peso e o fluxo sugerido para a submissão e aprovação dos projetos junto à ANTT .....	25
5. Ação 3 – Estudos para Normatização dos Processos de Registro Automático de Infrações e de Aplicação de Medidas Administrativas no Uso de Sistemas HS-WIM para Fiscalização Direta.....	28

5.1.	Atividade 3.1 – Análise do estado da prática referente à fiscalização direta com sistemas HS-WIM.....	28
5.2.	Atividade 3.2 – Definição das diretrizes técnicas e operacionais para registro de infrações e aplicação de medidas administrativas na fiscalização direta com sistemas HS-WIM.....	30
5.3.	Atividade 3.3 – Testes de campo e coleta de subsídios para operacionalização das diretrizes técnicas e operacionais desenvolvidas.....	32
5.4.	Atividade 3.4 – Definição dos requisitos técnicos e de desempenho da operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta.....	32
6.	Ação 4 – Integração de Tecnologias em Araranguá/SC e Criação de Protocolo para Integração e Avaliação dos Sistemas de Fiscalização Direta de Peso.....	34
6.1.	Atividade 4.1 – Identificação de novas tecnologias e possíveis novas parcerias para instalação em Araranguá/SC .....	34
6.2.	Atividade 4.2 – Instalação de novos sistemas e manutenção e modernização dos sistemas existentes em Araranguá/SC .....	37
6.3.	Atividade 4.3 – Integração das diferentes tecnologias e sistemas instalados no sítio de Araranguá (HS-WIM e dispositivos de ITS) .....	40
6.4.	Atividade 4.4 – Definição de protocolos de integração de tecnologias em Araranguá/SC para modernização da monitoração rodoviária.....	44
7.	Ação 5 – Coleta de Dados, Testes e Avaliações de Novas Tecnologias de Pesagem em Movimento (WIM) para Políticas de Fiscalização Direta .....	46
7.1.	Atividade 5.1 – Calibração dos sistemas instalados com veículos conhecidos.....	46
7.2.	Atividade 5.2 – Execução de testes com veículos conhecidos .....	50
7.3.	Atividade 5.3 – Avaliação dos resultados dos testes com veículos conhecidos.....	51
7.4.	Atividade 5.4 – Coleta de dados com veículos da frota e comparação com pesagem de referência.....	52
7.5.	Atividade 5.5 – Avaliação dos resultados dos testes com veículos da frota considerando as políticas de fiscalização (PBT ou peso por eixo).....	52
8.	Ação 6 – Participação em Eventos .....	54
8.1.	Participação de viagem exploratória internacional.....	54
8.2.	Recepção de visitantes em Araranguá/SC.....	56
8.3.	Participação do <i>workshop</i> “Vias Seguras” .....	58
8.4.	Participação do <i>workshop</i> “SandBox Regulatório” .....	59
9.	Extra .....	60
9.1.	Homologação do sistema Consilux pelo INMETRO .....	60
9.2.	Representação 3D.....	60
10.	Considerações Finais e Produtos Gerados .....	64
10.1.	Produtos elaborados no decorrer do projeto .....	65
10.2.	Equipamentos adquiridos com a Verba de RDT .....	66
	REFERÊNCIAS.....	67





# 1. Descrição do Projeto

## 1.1. Título do Projeto

O título do projeto que este relatório busca esmiuçar é “Estudos e pesquisas aplicadas visando à modernização da fiscalização e monitoração rodoviária com equipamentos de pesagem em alta velocidade utilizando o sítio de pesquisas instalado em Araranguá/SC”.

## 1.2. Resumo

Este Relatório Final detalha o progresso e as atividades realizadas ao longo dos 3 anos do projeto de modernização da fiscalização e monitoramento rodoviário com equipamentos de pesagem em alta velocidade, utilizando o sítio de pesquisa em Araranguá/SC. O projeto foi viabilizado a partir de um acordo de Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT), entre a CCR Via Costeira e a Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão Universitária (FAPEU), e buscou avanços técnicos e tecnológicos na área da fiscalização direta com postos de pesagem utilizando tecnologias *High Speed Weigh-in-Motion* (HS-WIM).

O presente capítulo apresenta uma visão geral do projeto, incluindo seu título, resumo, palavras-chave, justificativa e objetivos. Também é descrita a importância do monitoramento e da fiscalização rodoviária para a segurança viária e para a competitividade do transporte de cargas no Brasil.

No capítulo 2, são detalhados os métodos e técnicas empregados no desenvolvimento do projeto, incluindo as descrições das metodologias utilizadas para a coleta e análise de dados, bem como as ferramentas e equipamentos empregados.

O terceiro capítulo aborda a concepção e a implementação da infraestrutura do centro de pesquisas em Araranguá. Nele, são descritas as atividades de planejamento e construção das instalações necessárias, além do desenvolvimento de ferramentas computacionais para armazenamento e apresentação de dados.

No capítulo 4, são discutidas as atividades relacionadas à proposição de requisitos para projetos de sistemas de fiscalização direta de peso. Ele inclui a elaboração de minutas de documentos regulatórios e orientações para a submissão e aprovação de projetos junto à Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT).

O quinto capítulo apresenta um levantamento do estado da prática da normatização do processo de registro de infrações e aplicação de medidas administrativas. Em sequência, são relatadas as experiências praticadas por diversos países e definidas as diretrizes técnicas e operacionais. Ainda, são descritos os testes de campo realizados para avaliar a viabilidade do desempenho do sistema HS-WIM.

O capítulo 6 abrange novas tecnologias e, também, parcerias firmadas com diferentes empresas, por intermédio das quais foram realizadas as instalações de novos sistemas de pesagem em movimento em alta velocidade no sítio de pesquisa. Além disso, é exibida uma linha temporal de manutenções e modernizações realizadas nos sistemas existentes em Araranguá/SC. Por fim, os diferentes sistemas foram integrados por meio da definição de um protocolo de comunicação.

O sétimo capítulo, por sua vez, foca na coleta de dados e execução de testes com os sistemas instalados. Nele, são descritos os procedimentos de calibração dos sistemas executados com veículos de peso conhecido e a avaliação dos resultados obtidos com veículos da frota local.

O capítulo 8 relata as participações em eventos, nacionais e internacionais, no decorrer do projeto. Além disso, considerado como um capítulo extra, o nono capítulo inclui atividades que não foram previstas no cronograma de execução, mas que são cruciais para o desenvolvimento da pesagem em movimento em alta velocidade. Um destaque foi a homologação de sistema HS-WIM realizada pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Ainda, é apresentada uma representação em 3D de todo o sítio de pesquisa.

O capítulo final expõe as conclusões do projeto e lista os produtos gerados ao longo do período de sua execução. Este capítulo conta, também, com discussões acerca do desempenho dos sistemas HS-WIM em Araranguá/SC, bem como as contribuições do projeto para a modernização da fiscalização rodoviária no Brasil.

### **1.3. Palavras-chave**

As palavras-chave para o projeto são “pesagem em movimento”; “fiscalização automatizada”; “monitoramento de rodovias”; e “HS-WIM”.

### **1.4. Justificativa**

Assegurar a competitividade dos custos de transportes e a segurança da infraestrutura rodoviária é essencial para um desenvolvimento sustentável do setor de transporte rodoviário de cargas, sendo esse o responsável por 65% das movimentações de carga no país (CNT, 2023). Portanto, o monitoramento e a fiscalização das regulamentações de trânsito são indispensáveis para garantir a eficiência e a segurança desse modo de transporte.

A adoção de tecnologias para o monitoramento automatizado do transporte rodoviário de cargas fortalece a eficiência dos processos de fiscalização e monitoração. O estabelecimento de redes de monitoramento aumenta de forma expressiva a capacidade de cobertura e a eficácia das ações de fiscalização. Nesse setor, o desenvolvimento de sensores capazes de realizar a aferição das características dos veículos diretamente na velocidade da rodovia, além da leitura de placas, números de registros e outras demarcações nos veículos, permite a criação de estações automatizadas de monitoramento, nas quais os equipamentos funcionam de forma contínua, coletando dados e fazendo verificações acerca da situação dos veículos que trafegam no trecho. Com isso em mente, a utilização de tecnologias de pesagem em movimento em alta velocidade (HS-WIM) apresenta um grande potencial para coleta de dados sobre os veículos de transporte de cargas.

A escolha das tecnologias utilizadas em uma estação de monitoramento deve levar em consideração o objetivo pretendido para a rede de monitoramento. Por exemplo, para fins de obtenção de dados estatísticos e planejamento, podem ser utilizados equipamentos de pesagem mais simples. Por outro lado, para informações mais complexas e aumento da inteligência dos sistemas de monitoramento, é necessária a integração de diversos equipamentos e bases de dados.

A pesquisa e a implementação de sistemas automatizados para monitorar o tráfego estão em constante evolução. A prática ilegal de sobrecarga em veículos de carga, embora possa trazer benefícios econômicos aos transportadores, causa danos sociais ao aumentar os custos de manutenção das estradas e distorcer a concorrência. Além disso, o excesso de peso compromete a segurança rodoviária e acelera o desgaste dos veículos, diminuindo sua estabilidade e capacidade de frenagem.

Desde a década de 70, os Postos de Pesagem Veicular (PPVs) têm sido a principal ferramenta de fiscalização do excesso de carga. No entanto, a necessidade dos veículos adentrarem a infraestrutura específica limita a capacidade de fiscalização e causa atrasos. A tecnologia HS-WIM permite a identificação, a classificação e a medição do peso dos veículos de forma automática, na velocidade da rodovia e sem interrupção do tráfego, evitando a necessidade de redução da velocidade para pesagem. Sistemas HS-WIM para pré-seleção já são utilizados no Brasil e ao redor do mundo (Jacob; Cottineau, 2016), contudo, a precisão desses sistemas para fins de fiscalização ainda apresenta desafios.

Por esse motivo, a academia, entidades públicas e a indústria estão trabalhando para habilitar a fiscalização direta de peso nas rodovias de forma confiável e precisa. A fiscalização direta exige o desenvolvimento de sistemas HS-WIM com precisão adequada e levanta questões administrativas importantes. A pesquisa contínua sobre essas tecnologias é essencial para aumentar a eficiência do setor de operações rodoviárias, promovendo um transporte rodoviário de cargas mais seguro e competitivo.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo geral

Conduzir estudos sobre as últimas tecnologias em sensores, sistemas e práticas operacionais relacionadas a monitoramento e fiscalização automatizados de peso em rodovias, com o intuito de propor novas normativas ou a revisão de normas existentes. Este estudo tem foco na utilização de sistemas de pesagem em alta velocidade (HS-WIM), visando o desenvolvimento e a modernização dos níveis de inteligência dos processos atualmente vigentes. Essas investigações são realizadas utilizando as instalações presentes no sítio de pesquisa em Araranguá/SC.

### 1.5.2. Objetivos específicos

A fim de alcançar o objetivo geral do projeto, são estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Aproveitar a estrutura de pesquisa existente em Araranguá/SC em conjunto com novos equipamentos a serem instalados durante o projeto para potencializar as pesquisas no local;
- Estabelecer um ecossistema de pesquisa de diversas tecnologias voltadas à modernização da monitoração e fiscalização rodoviária automatizada;
- Criar estrutura de *software* para integrar e apresentar, de forma sistematizada, os dados e as análises realizadas entre os diferentes sistemas e equipamentos em teste no sítio de pesquisas;
- Identificar novas tecnologias WIM para utilização e teste no sítio de pesquisas e firmar novas parcerias para testes de sistemas no local;
- Propor à ANTT minutas de documentos normativos para o projeto de sistemas de fiscalização direta de peso com base nos resultados observados durante a pesquisa;
- Propor à ANTT minuta de documento normativo abordando o registro de infrações e a aplicação das medidas administrativas no contexto da fiscalização direta de peso;
- Fazer medições do desempenho de sistemas existentes em Araranguá/SC durante a execução do projeto, considerando a tecnologia, o pavimento, o tráfego, o clima e os critérios estabelecidos pela legislação vigente, com foco na aplicação das tecnologias para fiscalização direta;
- Difundir o conhecimento científico e tecnológico da aplicação de HS-WIM a partir da disponibilização dos resultados obtidos durante a pesquisa e do desenvolvimento de competências técnicas de bolsistas estudantes de áreas afins à engenharia rodoviária, vinculados ao projeto de pesquisa.

## 1.6. Organização do trabalho

Este projeto teve como propósito realizar estudos acerca das tecnologias de sensores, dos sistemas e dos aspectos da operação rodoviária relacionados ao monitoramento e à fiscalização automatizada de peso, visando à proposição de normativos e a revisão de normas existentes, com foco na utilização de sistemas HS-WIM, para promover o desenvolvimento e a modernização dos níveis de inteligência dos processos atualmente vigentes, utilizando o sítio de pesquisas existente em Araranguá/SC. Para atingir os objetivos do projeto proposto, foi estabelecida uma estrutura composta por seis ações. Assim, as ações originalmente propostas foram:

- Ação 1 – Concepção e implementação do centro de pesquisas em Araranguá/SC;
- Ação 2 – Proposição de requisitos e projetos-tipo e elaboração de minuta de normativo para projeto de sistemas de fiscalização direta de peso;
- Ação 3 – Estudos para normatização dos processos de registro automático de infrações e de aplicação de medidas administrativas no uso de sistemas HS-WIM para fiscalização direta;
- Ação 4 – Integração de tecnologias em Araranguá/SC e criação de protocolo para integração e avaliação dos sistemas de fiscalização direta de peso;
- Ação 5 – Coleta de dados, testes e avaliações de novas tecnologias de pesagem em movimento (WIM) para políticas de fiscalização direta;
- Ação 6 – Participação em eventos.

As ações previstas foram desenvolvidas conforme o cronograma físico do projeto, cujos produtos resultantes das atividades realizadas, aos seus términos, foram disponibilizados.

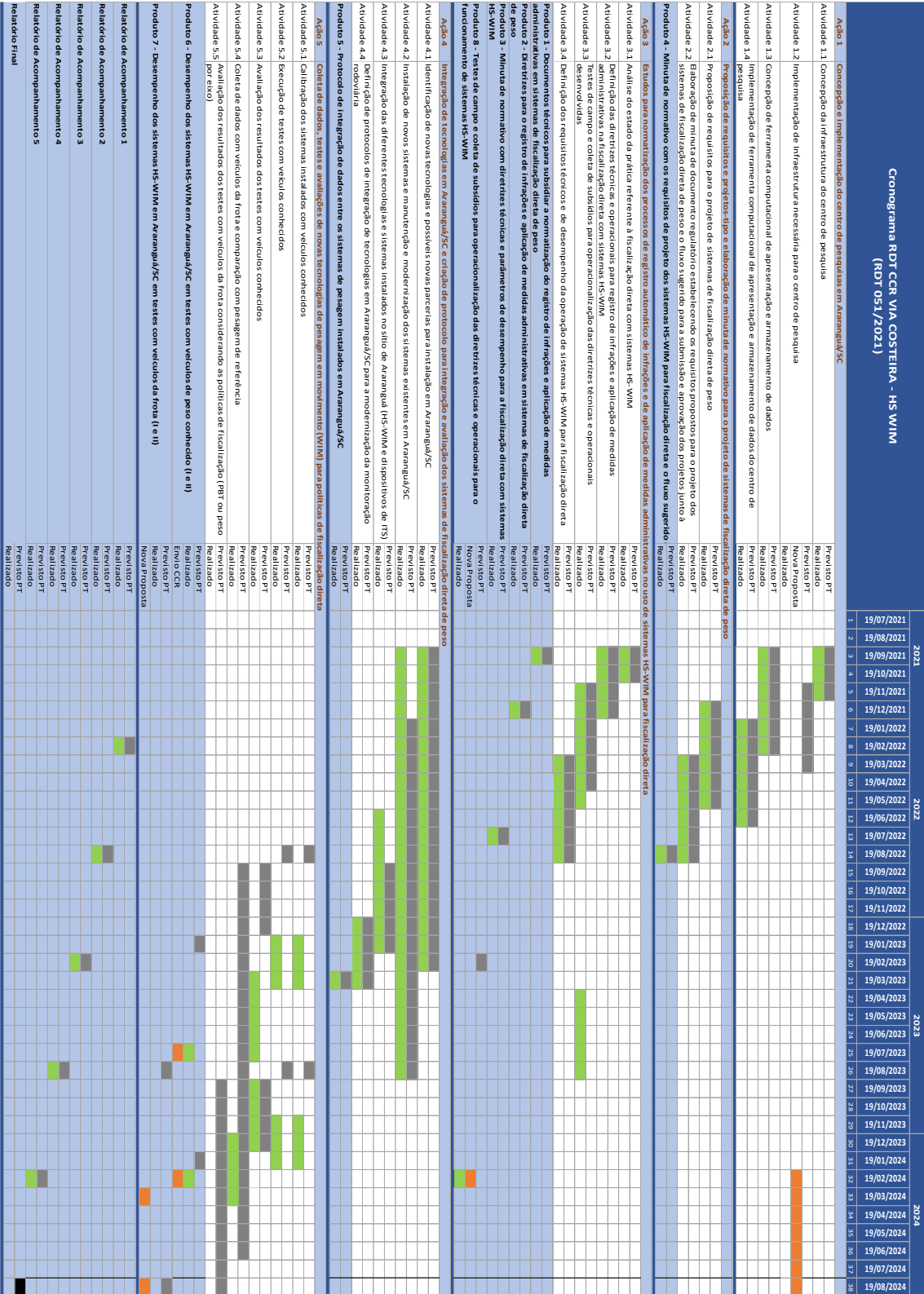
## 1.7. Período de execução

No que tange ao período de execução deste projeto de pesquisa, o mesmo teve início em 19 de julho de 2021 e término em 19 de agosto 2024.

## 1.8. Cronograma de execução

O cronograma físico financeiro deste projeto está representado na Figura 1.

Figura 1 – Cronograma físico financeiro



Fonte: FAPEU (2024)

## 1.9. Local de execução

O sítio de pesquisa de tecnologias de pesagem em movimento de Araranguá/SC está situado entre os quilômetros 415 e 418 da rodovia BR-101 (sentido sul), representado na Figura 2, onde foram realizados os estudos e pesquisas aplicadas visando à modernização da fiscalização e à monitoração rodoviária com equipamentos de pesagem em alta velocidade, com aproveitamento da infraestrutura já existente.

Figura 2 – Vista aérea do sítio de pesquisa de tecnologias HS-WIM em Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2024)

Anteriormente à concessão do trecho que compreende o sítio de pesquisa de Araranguá/SC, foram realizados projetos que incluíram a instalação de uma infraestrutura especializada para pesquisas de pesagem em movimento no local. Nesse contexto, foi implantada uma pista experimental, composta por dois trechos de pavimentação propícios para a instalação de sistemas 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.

A Figura 3 apresenta a localização da EI, da Pista Experimental (composta pelos trechos em PCBE e PCCA) e do PPV.

Figura 3 – Sítio de Pesquisa de HS-WIM de Araranguá/SC e seus componentes



Fonte: FAPEU (2024)

O sítio de pesquisa em questão conta com uma localização privilegiada, por pertencer a uma rodovia federal de alto fluxo, apresentando uma considerável capacidade de coleta de dados. Além disso os sistemas HS-WIM estão instalados próximos a um Posto de Pesagem Veicular (PPV) existente no local, equipado com uma 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.

### 1.10. Equipe executora

A pesquisa foi desenvolvida pelo Laboratório de Transportes e Logística (LabTrans), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e teve, como seus coordenadores:

- Coordenador Geral RDT: Wellington Longuini Repette, Professor Titular na Universidade Federal de Santa Catarina.
- Coordenador Técnico – Consultor especial: Valter Zanela Tani, Coordenador Técnico da FAPEU lotado no LabTrans/UFSC.

A equipe da pesquisa cotntou, também, com os pesquisadores:

- Engenheiro Técnico Responsável – Engenheiro coordenador: Gustavo Garcia Otto, Engenheiro Civil, Pesquisador da FAPEU lotado no LabTrans/UFSC.
- Engenheiro Mecatrônico – Engenheiro de projetos júnior: Kleyton Eric da Silva, Engenheiro Mecatrônico, pesquisador da FAPEU lotado no LabTrans/UFSC.
- Engenheira Civil – Engenheira de projetos júnior: Keyla Junko Chaves Shinohara, Engenheira Civil, pesquisadora da FAPEU lotada no LabTrans/UFSC.
- Analista de Desenvolvimento de Sistemas – Analista de desenvolvimento de sistemas pleno: Rafael Aleixo de Souza, desenvolvedor de *software* da FAPEU lotado no LabTrans/UFSC.



- Estagiário de graduação em Engenharia Civil – Gabriel Gomes Figueredo lotado no LabTrans/UFSC.
- Estagiário de mestrado em Engenharia Civil – Roberto Lima Guedes lotado no LabTrans/UFSC.

## 2. Métodos e Técnicas Utilizadas

A criação do centro de pesquisa em Araranguá/SC possibilitou a realização de experimentos de técnicas e metodologias, visando aumentar os níveis de inteligência dos processos de fiscalização rodoviária atualmente vigentes. Tal infraestrutura permitiu a realização de estudos e testes práticos para a proposição e validação de novos instrumentos regulatórios das concessões rodoviárias, em especial no tocante à modernização da fiscalização de peso.

Dentro de cada uma das seis ações propostas na organização do trabalho, foram atribuídas tarefas específicas, apresentadas a seguir:

- Ação 1 – Concepção e implementação do centro de pesquisas em Araranguá/SC:
  - Atividade 1.1 – Concepção da infraestrutura do centro de pesquisa;
  - Atividade 1.2 – Implementação de infraestrutura necessária para o centro de pesquisa;
  - Atividade 1.3 – Concepção de ferramenta computacional de apresentação e armazenamento de dados;
  - Atividade 1.4 – Implementação de ferramenta computacional de apresentação e armazenamento de dados do centro de pesquisa.
- Ação 2 – Proposição de requisitos e projetos-tipo e elaboração de minuta de normativa para projeto de sistemas de fiscalização direta de peso:
  - Atividade 2.1 – Proposição de requisitos para o projeto de sistemas de fiscalização direta de peso;
  - Atividade 2.2 – Elaboração de minuta de documento regulatório estabelecendo os requisitos propostos para o projeto dos sistemas de fiscalização direta de peso e o fluxo sugerido para a submissão e aprovação dos projetos junto à ANTT.
- Ação 3 – Estudos para normatização dos processos de registro automático de infrações e de aplicação de medidas administrativas no uso de sistemas HS-WIM para fiscalização direta:
  - Atividade 3.1 – Análise do estado da prática referente à fiscalização direta com sistemas HS-WIM;

- Atividade 3.2 – Definição das diretrizes técnicas e operacionais para registro de infrações e aplicação de medidas administrativas na fiscalização direta com sistemas HS-WIM;
- Atividade 3.3 – Testes de campo e coleta de subsídios para operacionalização das diretrizes técnicas e operacionais desenvolvidas;
- Atividade 3.4 – Definição dos requisitos técnicos e de desempenho da operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta.
- Ação 4 – Integração de tecnologias em Araranguá/SC e criação de protocolo para integração e avaliação dos sistemas de fiscalização direta de peso:
  - Atividade 4.1 – Identificação de novas tecnologias e possíveis novas parcerias para instalação em Araranguá/SC;
  - Atividade 4.2 – Instalação de novos sistemas e manutenção e modernização dos sistemas existentes em Araranguá/SC;
  - Atividade 4.3 – Integração das diferentes tecnologias e sistemas instalados no sítio de Araranguá (HS-WIM e dispositivos de ITS);
  - Atividade 4.4 – Definição de protocolos de integração de tecnologias em Araranguá/SC para modernização da monitoração rodoviária.
- Ação 5 – Coleta de dados, testes e avaliações de novas tecnologias de pesagem em movimento (WIM) para políticas de fiscalização direta:
  - Atividade 5.1 – Calibração dos sistemas instalados com veículos conhecidos;
  - Atividade 5.2 – Execução de testes com veículos conhecidos;
  - Atividade 5.3 – Avaliação dos resultados dos testes com veículos conhecidos;
  - Atividade 5.4 – Coleta de dados com veículos da frota e comparação com pesagem de referência;
  - Atividade 5.5 – Avaliação dos resultados dos testes com veículos da frota considerando as políticas de fiscalização (PBT ou peso por eixo).

### 3. Ação 1 – Concepção e Implementação do Centro de Pesquisas em Araranguá

A Ação 1 trata, principalmente, de dois assuntos: a criação de uma sala para apoio à pesquisa em Araranguá e a criação de um sistema para acesso de visualização dos dados da pesquisa. Esta Ação é composta pelas atividades descritas nos subtópicos que seguem.

#### 3.1. Atividade 1.1 – Concepção da infraestrutura do centro de pesquisa

Para a execução dessa atividade, considerou-se a infraestrutura existente no PPV de Araranguá/SC para a concepção de uma sala, a ser preparada no espaço existente no castelo d'água (Figura 4), buscando minimizar a interferência do centro de pesquisas nas operações diárias do posto de pesagem.

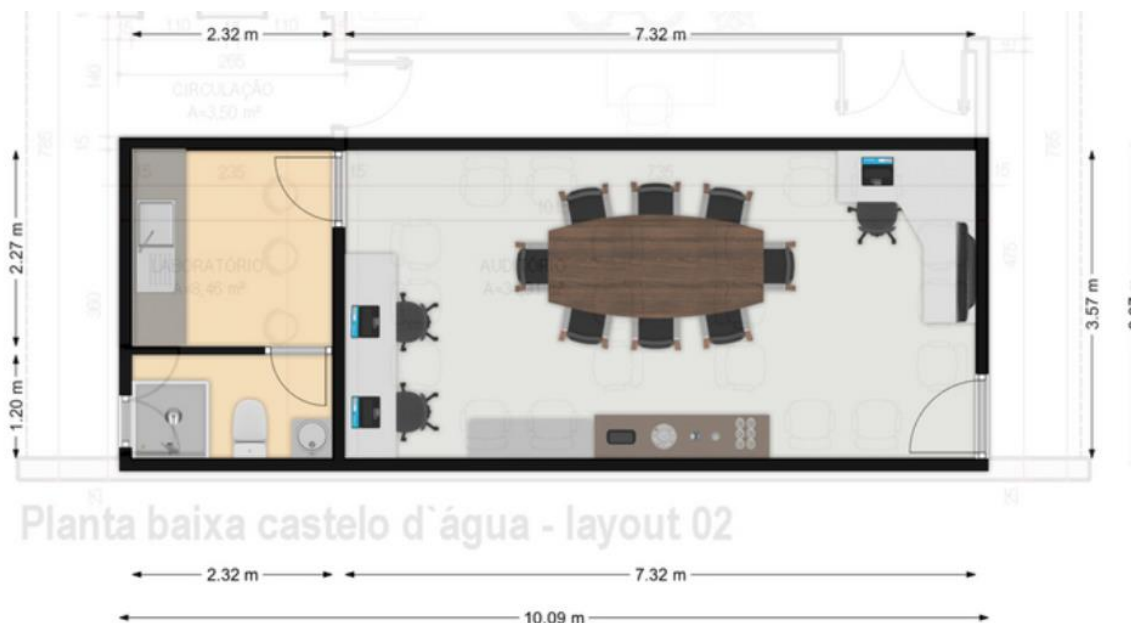
Figura 4 – Localização do prédio administrativo e do castelo d'água no PPV de Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2024)

Foi criada, então, uma proposta de *layout* para o centro de pesquisa, contando com uma mesa de reuniões, televisão para apresentações, três estações de trabalho individuais, banheiro e copa (Figura 5). Com base no *layout* proposto, foram, também, criados os projetos de instalações elétricas e hidrossanitárias, além de uma lista de materiais para a implantação do centro de pesquisas.

Figura 5 – Layout do centro de pesquisa no espaço do castelo d’água



Fonte: FAPEU (2024)

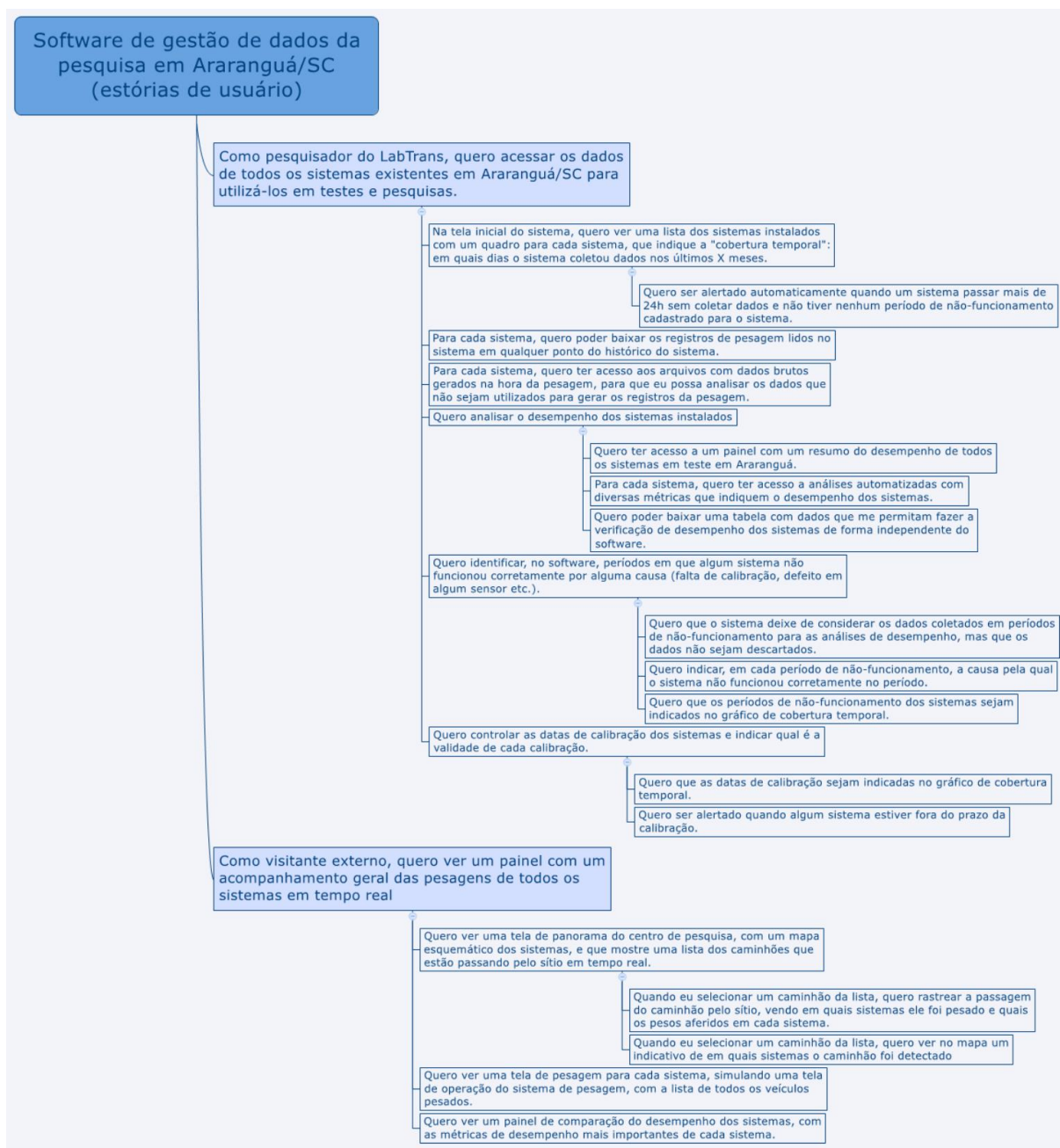
### 3.2. Atividade 1.2 – Implementação da infraestrutura necessária para o centro de pesquisa

Embora a concepção do local para o centro de pesquisas tenha sido realizada com base na infraestrutura existente no PPV de Araranguá/SC, durante o processo de implantação do posto de fiscalização pela concessionária no local, foi estabelecido outro local para a implementação do centro de pesquisas. Porém, devido ao projeto padrão do posto de pesagem aprovado pela ANTT não prever salas adicionais, ficou determinado junto a CCR que não haveria a necessidade da construção de um centro de pesquisas, uma vez que as operações necessárias poderiam ser realizadas remotamente, no próprio escritório do LabTrans. Considerando que os custos previstos para a Ação 1 não estão associados a esta atividade, não se constatou a necessidade de alterações no cronograma financeiro do projeto.

### 3.3. Atividade 1.3 – Concepção de ferramenta computacional de apresentação e armazenamento de dados

O primeiro passo da concepção da ferramenta computacional de armazenamento, análise e apresentação de dados consistiu no levantamento de requisitos da ferramenta na forma de histórias de usuário, ou seja, especificações curtas que expressam necessidades pontuais de diferentes usuários do sistema. A partir do levantamento de requisitos por meio de histórias de usuário, realizou-se o mapeamento de requisitos do *software* (Figura 6).

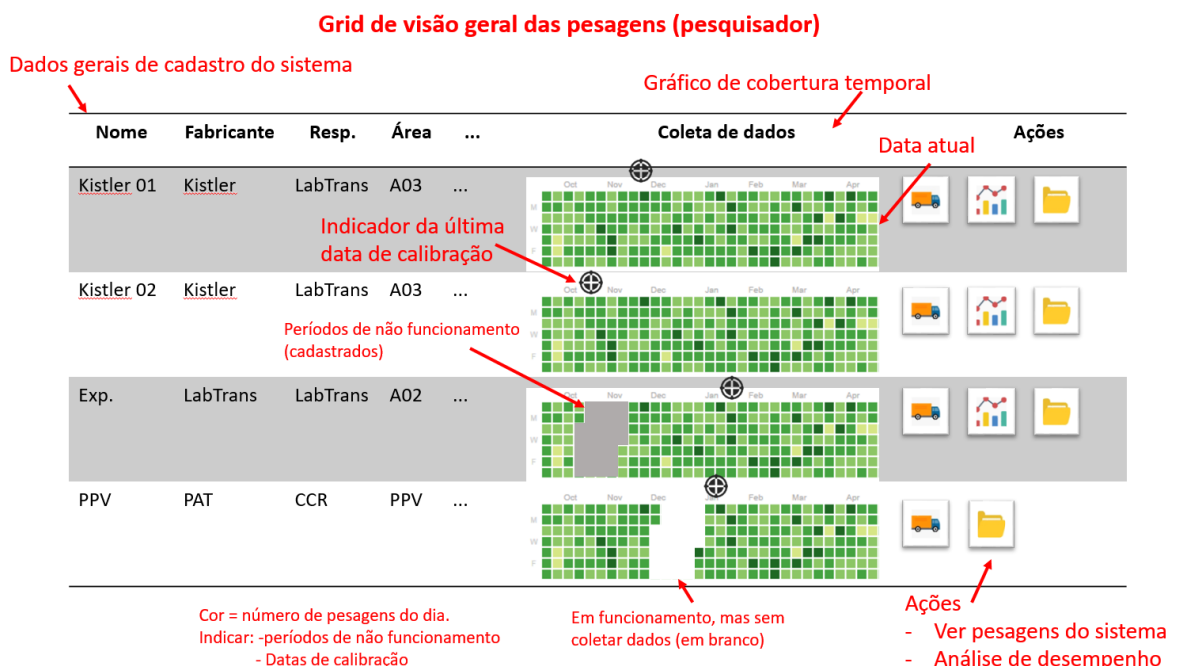
Figura 6 – Histórias de usuário para o *software* de armazenamento, de análise e de apresentação de dados do sítio de pesquisas de Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2022)

Posteriormente, foram elaborados protótipos conceituais para as telas e as funcionalidades específicas da ferramenta. Um exemplo de protótipo conceitual para uma tela do *software* está apresentado na Figura 7, que demonstra o conceito elaborado para uma tela de cobertura temporal das pesagens dos sistemas que compõem o sítio de pesquisa.

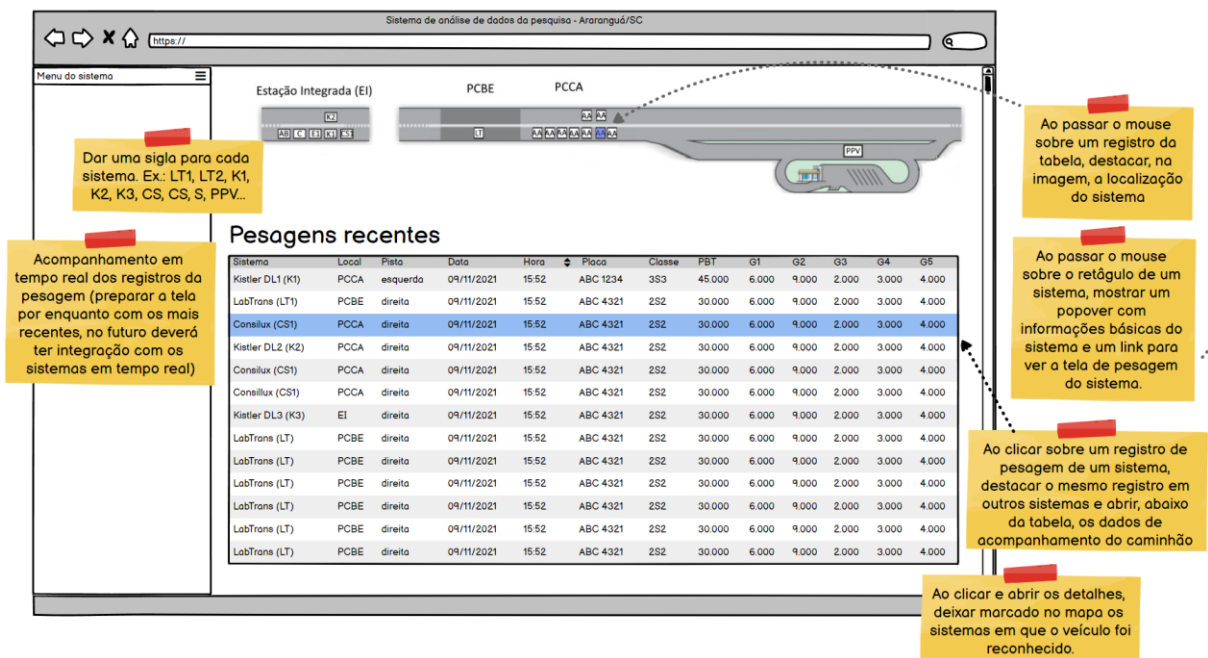
Figura 7 – Protótipo conceitual para a tela de cobertura temporal dos dados coletados pelos sistemas de pesagem de Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2022)

Outro exemplo de protótipo elaborado para as telas está representado na Figura 8:

Figura 8 – Protótipo conceitual de tela de acompanhamento de pesagens em tempo real



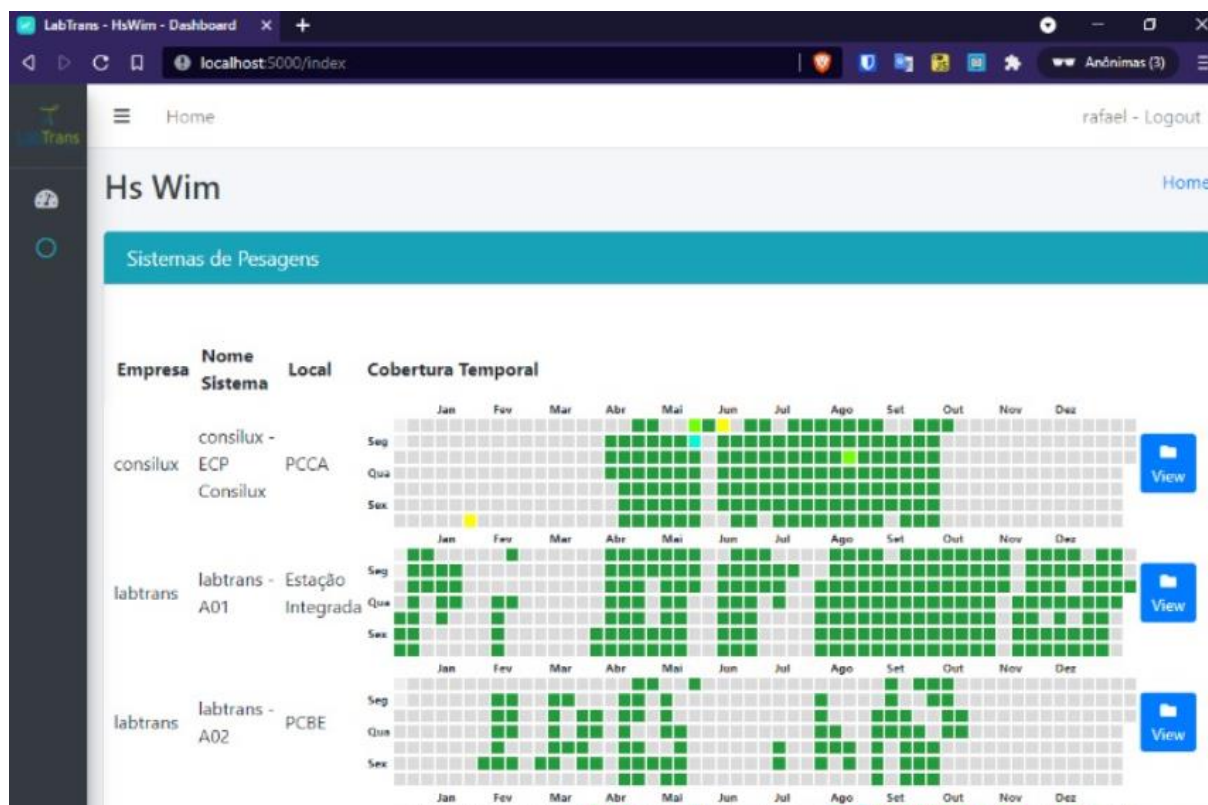
Fonte: FAPEU (2022)

Com esses protótipos de telas, foi possível dar início à etapa de desenvolvimento da ferramenta computacional, permitindo que a implementação ocorresse na atividade seguinte.

### 3.4. Atividade 1.4 – Implementação de ferramenta computacional de apresentação e armazenamento de dados do centro de pesquisa

A ferramenta computacional consiste em um sistema desenvolvido em plataforma *web*, utilizando a linguagem de programação *Python* e o *framework Flask* para construção do aplicativo. O banco de dados utilizado pelo aplicativo é o *PostgreSQL*, e a estrutura utilizada para o banco de dados, desenvolvida especialmente para o sítio de pesquisas de Araranguá/SC, permite a gestão dos dados de diversos sistemas de pesagem de forma integrada. Alguns exemplos de telas são exibidos na Figura 9 e na Figura 10:

Figura 9 – Tela de cobertura temporal dos dados dos sistemas de pesagem instalados em Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2022)



Figura 10 – Tela de consulta ao histórico de pesagem dos sistemas

The screenshot displays the 'Histórico de Pesagens' interface. It features a sidebar with navigation options like 'Dashboard', 'Histórico de Pesagens', 'Pesagem Em Tempo Real', 'Calibrações', 'Eventos', and 'Gráficos VMD'. The main area contains a search bar and a 'Parâmetros Consulta' section with filters for 'Sistema' (consilux - ECP Consilux), 'Placa', 'DataHora Início / Término' (01/09/2019 03:00 PM - 09/09/2019 03:00 PM), and 'Classe Veículo'. There are also sliders for 'Número de Eixos' (0 to 9) and 'PBT' (0 kg to 150,000 kg), along with a checkbox for 'Apenas Veículos com Match'. A 'Consultar' button is located at the bottom right of the filter section.

Below the filters is the 'Resultado da Consulta' section, which shows a table of results. The table has columns for 'Data Hora', 'Sistema', 'Placa', 'Classe', 'Velocidade', 'Eixos', 'Pbt', 'Eixo1', 'Eixo2', 'Eixo3', 'Eixo4', and 'Eixo5'. The data is as follows:

Data Hora	Sistema	Placa	Classe	Velocidade	Eixos	Pbt	Eixo1	Eixo2	Eixo3	Eixo4	Eixo5
05/09/2019 17:21:09	consilux - ECP Consilux	IVB2815	NaN		2	3299	1399	1900			
05/09/2019 17:21:10	consilux - ECP Consilux	QJS4823	NaN		2	1426	833	592			
05/09/2019 17:21:12	consilux - ECP Consilux	MCZ1710	2C		2	13758	4530	9228			
05/09/2019 17:21:22	consilux - ECP Consilux	MHY2268	NaN		2	1367	754	614			

Fonte: FAPEU (2022)

Como resultado dessa atividade, a ferramenta computacional de apresentação e armazenamento de dados permite centralizar os dados de diferentes sistemas em um único local, facilitando o acesso e a gestão das informações. Além disso, os gráficos criados ajudam na análise visual e na interpretação dos dados.

## **4. Ação 2 – Proposição de Requisitos e Projetos-Tipo e Elaboração de Minuta de Normativo Para o Projeto de Sistemas de Fiscalização Direta de Peso**

Na Ação 2, desenvolveu-se um normativo de projeto com subsídios técnicos para a elaboração de projetos de infraestrutura e de soluções tecnológicas para implantação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta. Os trabalhos para essa ação iniciaram-se, conforme cronograma, com a execução da primeira atividade, 2.1. Assim, foram realizados estudos e levantamentos para detalhamento dos requisitos de projeto dos sistemas de pesagem em movimento, que foram, posteriormente, utilizados para formular a minuta de documento. Esses desenvolvimentos estão apresentados no Produto 4 deste projeto, intitulado “Minuta de Normativo com os Requisitos de Projeto dos Sistemas HS-WIM para Fiscalização Direta e o Fluxo Sugerido de Submissão e Aprovação dos Projetos entre as Concessionárias e a ANTT”.

### **4.1. Atividade 2.1 – Proposição de requisitos para o projeto de sistemas de fiscalização direta de peso**

Foram elaboradas as orientações para o projeto de sistemas de fiscalização direta de peso, incluindo os seguintes itens:

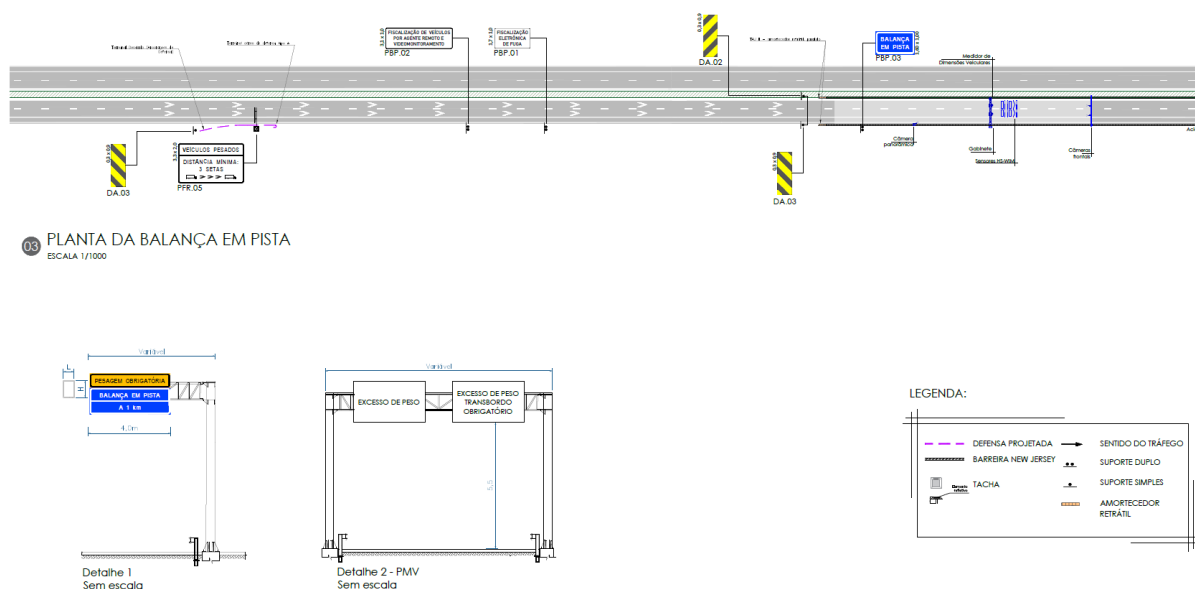
- Projetos essenciais:
  - Projeto geométrico;
  - Projeto de pavimentação;
  - Projeto de sinalização e dispositivos de segurança;
  - Projeto de solução tecnológica.
- Projetos complementares:
  - Projeto de drenagem;
  - Projeto de terraplanagem;
  - Projeto de iluminação;
  - Projeto de interferência;
  - Projeto de contenções;
  - Projeto ambiental.

As orientações elaboradas incluem a descrição de cada projeto, a indicação dos normativos aplicáveis em cada caso e a especificação de requisitos de cada tipo de projeto para os sistemas HS-WIM voltados à fiscalização direta. Além das orientações de projeto, também foram elaboradas orientações para o orçamento de sistemas de pesagem em movimento, incluindo:

- Orientações gerais para orçamento;
- Orientações para orçamento analítico;
- Orientações para orçamento sintético.

Ademais, foram elaborados projetos-tipo para os sistemas. Uma ilustração de um dos projetos-tipo elaborados pode ser contemplada na Figura 11.

Figura 11 – Exemplo de visualização do projeto tipo, elaborado para os sistemas de pesagem em movimento para fiscalização direta



Fonte: FAPEU (2022)

#### 4.2. Atividade 2.2 – Elaboração de minuta de documento regulatório estabelecendo os requisitos propostos para o projeto dos sistemas de fiscalização direta de peso e o fluxo sugerido para a submissão e aprovação dos projetos junto à ANTT

Durante a atividade, uma minuta foi elaborada com base nas orientações da Lei Complementar 95/1998 (Brasil, 1998), que apresenta as informações para a redação de textos legais. Com base nos estudos e pesquisas na área de orçamento de obras rodoviárias, foram desenvolvidos os capítulos do Produto 4, cujo objetivo é trazer diretrizes e orientações para a

apresentação do orçamento dos itens dos projetos do sistema HS-WIM para fiscalização direta.

O Produto traz, ainda, fluxogramas com sugestões para o processo de submissão e aprovação dos projetos entre as concessionárias e a ANTT, com o objetivo de tornar o processo mais ágil. Outras atividades executadas neste período foram:

- Estudo do Anexo I da Portaria Nº 28 da SUINF/ANTT;
- Mapeamento do processo, desde a etapa de submissão dos projetos e orçamentos, por parte da concessionária, até a sua aprovação na ANTT;
- Elaboração de quadro com lista de normativos e regramentos a serem considerados pelos projetistas para a concepção dos projetos e do orçamento.



## **5. Ação 3 – Estudos para Normatização dos Processos de Registro Automático de Infrações e de Aplicação de Medidas Administrativas no Uso de Sistemas HS-WIM para Fiscalização Direta**

A presente Ação teve como objetivo fornecer os subsídios técnicos para a formulação dos instrumentos normativos pendentes e necessários para o registro automatizado de infrações e para a aplicação de medidas administrativas, na operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta do peso de veículos.

### **5.1. Atividade 3.1 – Análise do estado da prática referente à fiscalização direta com sistemas HS-WIM**

Nessa atividade, foram realizadas pesquisas e consultas para levantamento das experiências internacionais com o uso de sistemas HS-WIM para a fiscalização direta. Foram analisadas e descritas, no Produto 2, intitulado “Diretrizes para o Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso”, as experiências dos seguintes países:

- Taiwan, primeiro país a implementar uma modalidade de fiscalização direta com sistemas HS-WIM, em 1999;
- República Tcheca, primeiro país europeu a regulamentar e homologar, de forma definitiva, sistemas de pesagem HS-WIM para fiscalização do peso de veículos (Figura 12);
- China, que tornou legal a operação da modalidade de fiscalização direta de peso em 2004 e teve a consolidação da modalidade em 2016;
- Rússia, onde os sistemas HS-WIM para fiscalização direta foram regulamentados em 2013 e se tornaram operacionais em 2015;
- Hungria, que iniciou em 2018 a implantação da maior rede de sistemas HS-WIM de alto desempenho para fiscalização direta na Europa (Figura 13);
- França, Polônia e Coréia do Sul, países onde se destacou o avanço da fiscalização direta com HS-WIM, a partir das experiências de outros países, na última década;

- Finalmente, Brasil, onde a utilização de sistemas HS-WIM para a fiscalização direta do peso de veículos foi anunciada como um dos principais objetivos em pauta do governo em 2020, e onde foram realizadas diversas pesquisas para o avanço do HS-WIM, incluindo aquelas relacionadas a este projeto de RDT e ao sítio de pesquisas de Araranguá/SC.

Figura 12 – HS-WIM para fiscalização direta em operação na República Tcheca



Fonte: CAMEA (2020)

Figura 13– Sistema HS-WIM para fiscalização direta na Hungria



Fonte: Tengelysulymeres (2021)

## 5.2. Atividade 3.2 – Definição das diretrizes técnicas e operacionais para registro de infrações e aplicação de medidas administrativas na fiscalização direta com sistemas HS-WIM

Durante essa atividade, foram analisadas as legislações que se aplicam ao processo de fiscalização do peso de veículos rodoviários com objetivo de identificar quais alterações poderiam ser necessárias. Os normativos identificados estão no Quadro 1.

Quadro 1 – Normativos passíveis de alteração para implementação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM

Normativo	Descrição	Relevância
Resolução nº 459/2013, do CONTRAN	Estabelece os requisitos específicos mínimos do sistema automático não metrológico para a fiscalização das infrações por fuga da pesagem	Viabiliza a fiscalização de peso por agente remoto
Portaria nº 870/2010, do DENATRAN	Estabelece os requisitos específicos mínimos do sistema automático não metrológico para a fiscalização das infrações por fuga da pesagem	Regulamenta o registro automático de infrações por evasão da pesagem (foto-fuga)

Fonte: FAPEU (2022)

O Quadro 2 apresenta as modificações que podem ser necessárias à Resolução nº459/2015 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN).

Quadro 2 – Itens passíveis de revisão na Resolução nº 459/2015 do CONTRAN (agente remoto)

Itens passíveis de revisão	Potenciais impedimentos à fiscalização HS-WIM	Sugestões de adequação
<p>“Art. 2º - Os sistemas automatizados integrados previstos nesta Resolução deverão ser compostos por: [...]</p> <p>V - Sistema de Informação - composto de terminal de consulta e impressão dos dados relativos à pesagem, devendo indicar as medidas administrativas cabíveis; [...]</p> <p>VII – Sistema de Registro e Armazenamento de Dados - possibilita digitalização de documentos, a digitação de informações, a gravação e transmissão de dados relativos à fiscalização ao agente da autoridade de trânsito”</p>	Os sistemas de fiscalização direta HS-WIM não contarão, necessariamente, com área específica para alocação do “Sistema de Informação” e do “Sistema de Registro e Armazenamento de Dados”	Incluir § 4º no Art. 2º com o dizer: “Para casos de fiscalização direta com sistemas HS-WIM, não será obrigatória a implantação dos sistemas previstos nos incisos V e VII”



Itens passíveis de revisão	Potenciais impedimentos à fiscalização HS-WIM	Sugestões de adequação
“Art. 5º - As áreas destinadas à pesagem de veículos deverão estar devidamente sinalizadas, pelo sinal de regulamentação R-24b, com a informação complementar “VEÍCULOS PESADOS”, em placa adicional ou incorporada”	A operação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM não implica na saída obrigatória de veículos pesados da rodovia, conforme induz a sinalização R-24b	Remover o Art. 5º ou incluir § 4º no Art. 5º com o dizer: “Para casos de fiscalização direta com sistemas HS-WIM, não será obrigatória a implantação do sinal de regulamentação R-24b nas áreas destinadas à pesagem de veículos”
“Art. 8º A fiscalização por sistema automatizado integrado não dispensa a aplicação da medida administrativa de retenção do veículo para remanejamento e transbordo da carga excedente”	Os sistemas de fiscalização direta HS-WIM não contarão, necessariamente, com área específica para remanejamento e/ou transbordo da carga excedente	Incluir § 4º no Art. 8º com o dizer: “Para casos de fiscalização direta com sistemas HS-WIM, não será obrigatória a aplicação de medidas administrativas de retenção do veículo para remanejamento e transbordo da carga excedente”

Fonte: FAPEU (2022)

O Quadro 3, por sua vez, expõe as modificações que podem ser pertinentes à Portaria nº 870/2010 do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN).

**Quadro 3 – Itens passíveis de revisão na Portaria nº 870/2010, do DENATRAN (foto-fuga)**

Itens passíveis de revisão	Potenciais impedimentos à fiscalização HS-WIM	Sugestões de adequação
“Art. 9º - O sistema automático não metrológico de fiscalização dos veículos que deixarem de adentrar nas áreas destinadas à pesagem deverá registrar: I – uma ou mais imagens panorâmicas que caracterize a infração e o veículo, mostrando o sinal de regulamentação R-24b ou o Dispositivo Luminoso; e II – uma imagem adicional para identificar a placa do veículo, se necessário. Parágrafo único. A(s) imagem(ns) panorâmica(s) deve(m) mostrar a seção transversal da via, de forma a visualizar a(s) faixa(s) de tráfego do local fiscalizado”	A operação da fiscalização direta com sistemas HS-WIM não implica na saída obrigatória de veículos pesados da rodovia, a ser induzido pela sinalização R-24b ou pelo Dispositivo Luminoso	Incluir § 4º no Art. 2º com o dizer: “Para casos de fiscalização direta com sistemas HS-WIM, não será obrigatória a implantação do sinal de regulamentação R-24b ou do Dispositivo Luminoso mencionados no inciso I”

Itens passíveis de revisão	Potenciais impedimentos à fiscalização HS-WIM	Sugestões de adequação
"Anexo - Quadro esquemático do Posto de Pesagem de Veículos (PPVs)"	Os postos de pesagem baseados em sistemas HS-WIM para fiscalização direta possuem um leiaute diferenciado, com instrumentação na pista de rolamento da rodovia	Inclusão de um segundo quadro esquemático com sistema HS-WIM para fiscalização direta

Fonte: FAPEU (2022)

Além da análise das possíveis modificações legais necessárias para viabilizar a fiscalização direta com HS-WIM, também foram elaboradas as diretrizes para a fiscalização direta, além do fluxo de operação e de registro de infrações. Esta atividade deu origem ao Produto 3, "Minuta Normativo com Diretrizes Técnicas e Parâmetros de Desempenho para a Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM".

### 5.3. Atividade 3.3 – Testes de campo e coleta de subsídios para operacionalização das diretrizes técnicas e operacionais desenvolvidas

Nesta atividade, foram coletadas informações oriundas dos testes com tecnologias HS-WIM instaladas no sítio de pesquisas de pesagem em movimento em Araranguá/SC. Essa coleta de subsídios permitiu o detalhamento e a instrumentalização das diretrizes técnicas e operacionais desenvolvidas para registro de informações e aplicação de medidas administrativas na fiscalização direta com sistemas HS-WIM.

Devido a novas parcerias firmadas com empresas, a Atividade 3.3 teve seu prazo de execução estendido. Em função disso, o Produto 3, que, originalmente, incluiria o relato dos testes práticos do modelo de fiscalização direta, foi finalizado contendo o desenvolvimento teórico e a proposta da minuta de normativo, porém sem a aplicação prática. Assim, foi proposta a entrega de um novo produto, o Produto 8, "Testes de Campo e Coleta de Subsídios para operacionalização das Diretrizes Técnicas e Operacionais para o Funcionamento de Sistemas HS-WIM", no qual são relatados os testes práticos realizados para a operacionalização das diretrizes para o funcionamento dos sistemas HS-WIM. Nele, foi realizada a avaliação do desempenho do sistema HS-WIM, de acordo com as diretrizes impostas no Produto 3, apresentando análises estatísticas da efetividade dos sistemas de pesagem em movimento HS-WIM testados.

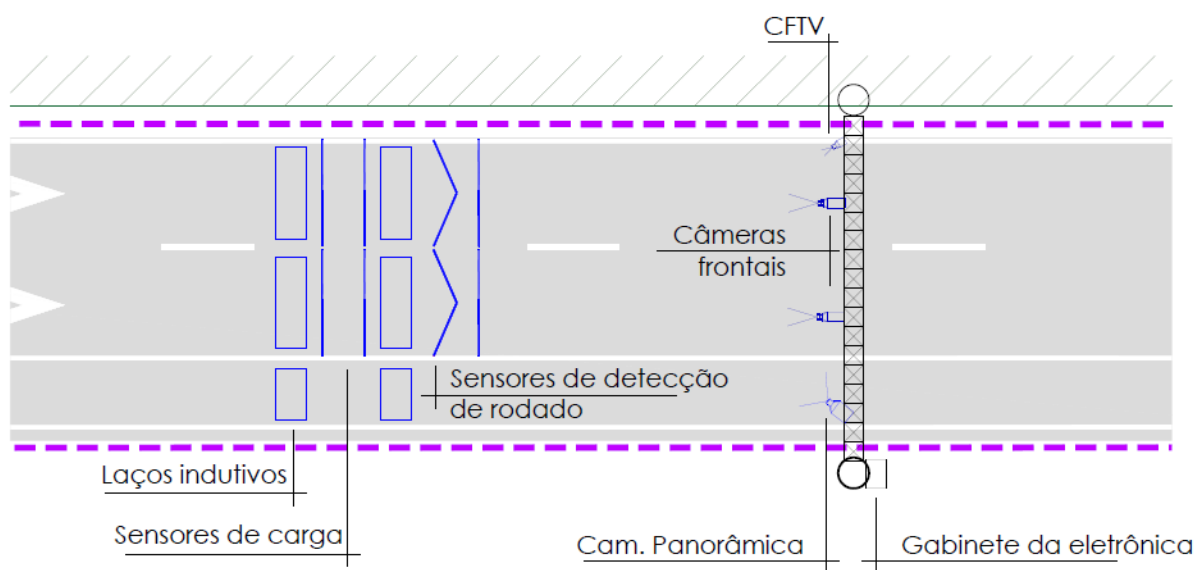
### 5.4. Atividade 3.4 – Definição dos requisitos técnicos e de desempenho da operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta

Baseado no conhecimento adquirido nos Produtos 1 e 2 intitulados "Documentos Técnicos para Subsidiar a Normatização do Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso" e "Diretrizes para o Registro de

Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso”, foi desenvolvido o texto da “Minuta de Normativo com Diretrizes Técnicas e Parâmetros de Desempenho para a Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM”, do Produto 3.

Uma vez definidos os processos para o sistema de fiscalização direta de peso veicular, trabalhou-se com a definição das diretrizes técnicas e dos parâmetros de desempenho para os elementos do sistema. Esses sistemas foram apresentados em um projeto-tipo (Figura 14), já que a correta alocação dos sistemas dentro do projeto e, ainda, a comunicação com a sinalização do local, são fundamentais para o funcionamento da fiscalização direta de peso.

Figura 14 – Detalhe da solução HS-WIM do projeto-tipo do sistema de fiscalização direta



Fonte: FAPEU (2022)

A minuta foi elaborada seguindo as orientações da Lei Complementar 95/1998 (Brasil, 1998), que apresenta recomendações e informações pertinentes à redação de textos legais.

## 6. Ação 4 – Integração de Tecnologias em Araranguá/SC e Criação de Protocolo para Integração e Avaliação dos Sistemas de Fiscalização Direta de Peso

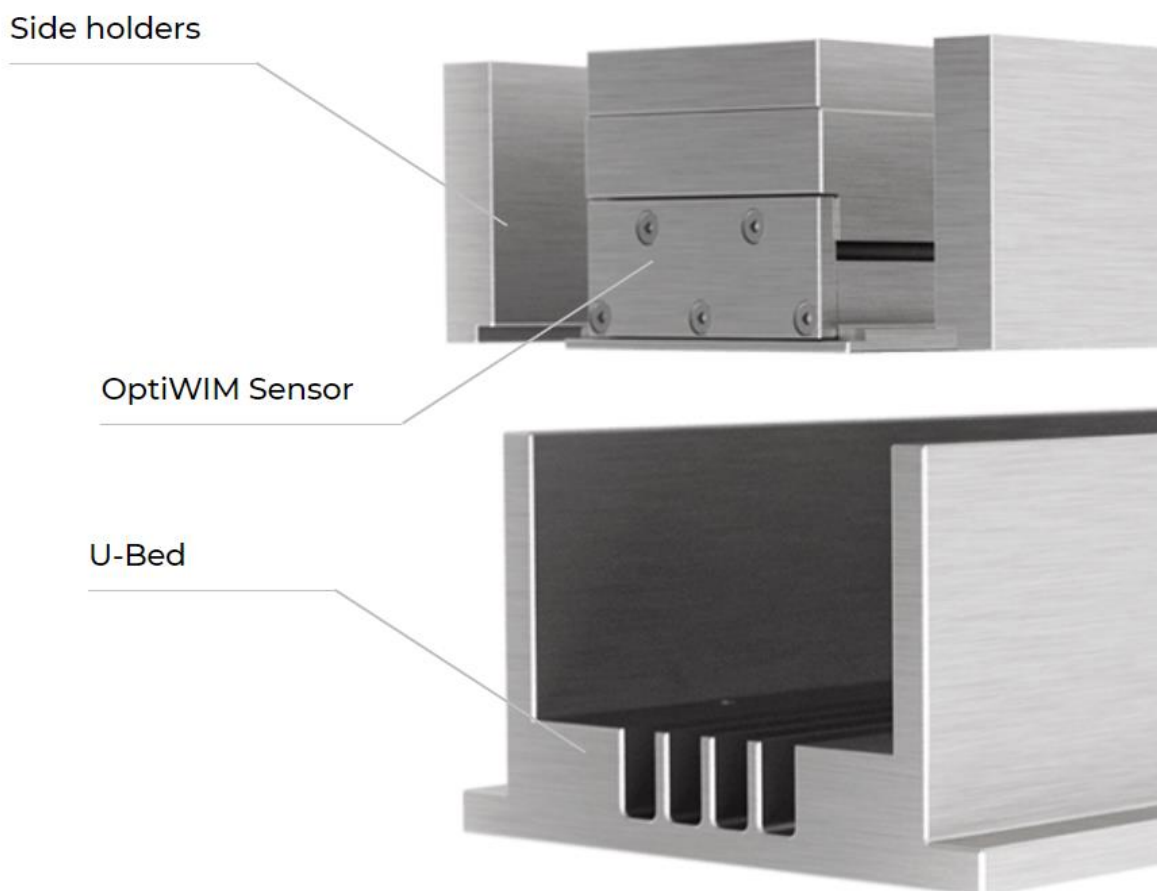
O sítio de Araranguá possui diversos sistemas HS-WIM, instalados nas pistas com estruturas de pavimento distintas, concebidas para a obtenção do melhor desempenho. As atividades desta ação buscam integrar os diferentes sistemas e tecnologias WIM da pesquisa e dos parceiros do projeto, com a finalidade de fornecer informações sobre a operação dos dispositivos integrados e automatizados para fomentar a modernização da fiscalização rodoviária. Nesta ação, foi desenvolvida uma proposição de minutas de protocolos de integração de dados entre diferentes sistemas, para gestão das informações produzidas pelos mesmos, e realizou-se a identificação de novas tecnologias e a instalação delas por meio de novas parcerias, visando ao teste das tecnologias e à integração dos seus dados com os outros sistemas existentes.

### 6.1. Atividade 4.1 – Identificação de novas tecnologias e possíveis novas parcerias para instalação em Araranguá/SC

Nessa atividade, a equipe técnica realizou pesquisas e atualizações periódicas acerca das tecnologias existentes no mercado, a partir do contato com outros profissionais, da leitura de artigos científicos e da participação na Sociedade Internacional de Pesagem em Movimento (*International Society for Weigh-in-Motion*, ISWIM).

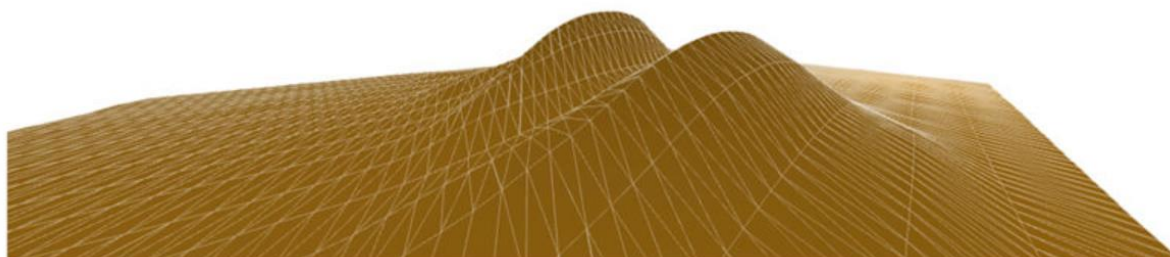
Primeiramente, identificou-se um tipo de sensor de pesagem, chamado de OptiWIM (CROSS, 2021), que utiliza fibras óticas integradas em uma estrutura metálica (Figura 15) para a detecção dos esforços exercidos pelo eixo, durante a passagem sobre o sensor. Um dos benefícios alegados pelo fabricante desse sensor, além da maior precisão, consiste na possibilidade de identificar a pressão exercida pelo pneu do veículo em vários pontos ao longo do sensor – ao contrário dos sensores existentes atualmente, em que se obtém uma leitura única de tensão para toda a largura do sensor (Figura 16). Isso possibilitaria, por exemplo, identificar o tipo dos rodados, e verificar a existência de pneus murchos ou superinflados, com a utilização de um único sensor em linha.

Figura 15 – Ilustração da estrutura do sensor Cross OptiWIM



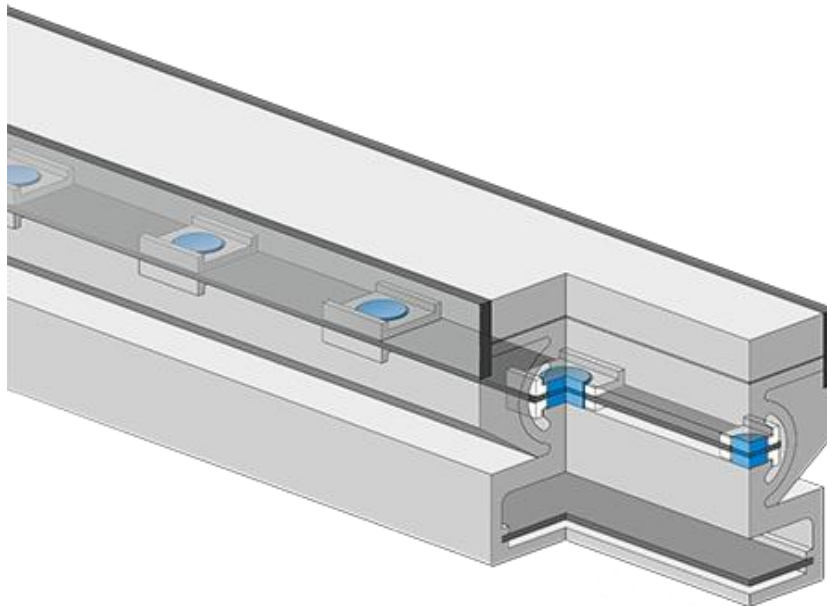
Fonte: Cross (2021)

Figura 16 – Ilustração do perfil de tensões obtido pelo sensor Cross OptiWIM



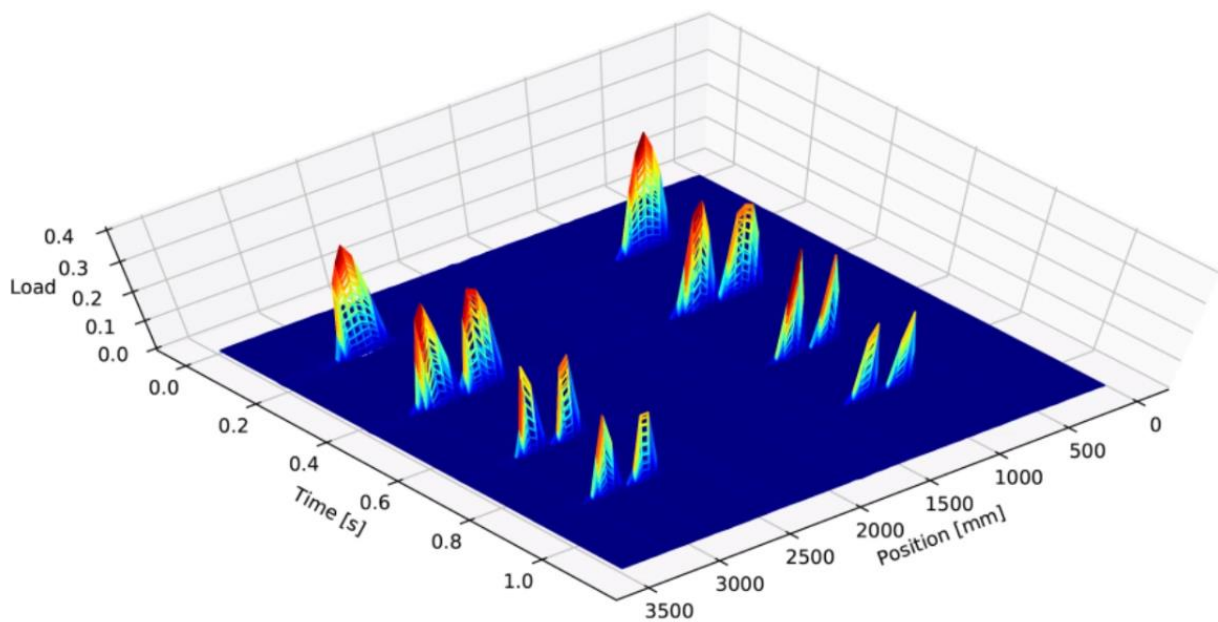
Fonte: Cross (2021)

Outra tecnologia com potencial para aumento do desempenho dos sistemas de pesagem são os sensores *Lineas Digital*, da empresa Kistler (KISTLER, 2021). Esses sensores são compostos por componentes individualizados de quartzo, distribuídos ao longo da largura do sensor (Figura 17).

Figura 17 – Ilustração da estrutura do sensor Kistler *Lineas Digital*

Fonte: Kistler (2021)

Por meio da individualização dos componentes piezelétricos, a empresa Kistler alega que é possível obter maior precisão a partir da calibração específica por componente, além de possibilitar a aferição do perfil de tensões exercidas pelos pneus ao longo do sensor (Figura 18).

Figura 18 – Ilustração do perfil de tensões obtido pelo sensor Kistler *Lineas Digital*

Fonte: Kistler (2021)

Destaca-se, também, a nova parceria realizada com a empresa CAMEA, que realizou a doação para a pesquisa de uma solução completa de pesagem em alta velocidade, a qual foi importada, instalada e testada durante este projeto de RDT. A *CAMEA technology* é uma empresa especializada em equipamentos eletrônicos para fiscalização e monitoração rodoviária, localizada na República Tcheca. A empresa foi criada por pesquisadores técnicos acadêmicos em 1995 e, desde então, trabalha com sistemas de fiscalização automatizada. O sistema de pesagem da CAMEA foi o primeiro sistema no mundo a ser certificado para fiscalização direta, em 2011. Atualmente, a CAMEA possui um novo sistema que utiliza um sensor de pesagem digital, denominado WIMTRONIC. Os novos sensores digitais são mais avançados que os utilizados atualmente para a pesagem em alta velocidade e, assim, prometem maior precisão na pesagem.

## **6.2. Atividade 4.2 – Instalação de novos sistemas e manutenção e modernização dos sistemas existentes em Araranguá/SC**

A atividade 4.2, com início previsto em janeiro de 2022, foi executada em algumas instâncias desde o início do projeto, em agosto de 2021. A seguir, são apresentadas as visitas técnicas realizadas em Araranguá/SC para serviços de manutenção, ativação dos sistemas e instalação de novos sistemas HS-WIM:

- Em 09 de setembro de 2021, foi realizada uma visita para inspeção dos sistemas e realização de serviços prioritários para reestabelecimento da ligação elétrica e da comunicação com *internet* nos gabinetes dos sistemas;
- Em 22 de setembro de 2021, foi realizada uma visita para manutenção e limpeza de componentes de sistemas instalados na PCCA, para reparo de *links* de *internet* com a troca de componentes e para a ativação de sistemas instalados na PCCA;
- Em 30 de setembro de 2021, foi realizada uma visita para acompanhar a equipe técnica da CCR Via Costeira, responsável pela implantação do posto de pesagem de Araranguá/SC, para conhecimento dos equipamentos relacionados à pesquisa e ao levantamento de informações sobre o posto de pesagem;
- Em 28 de outubro de 2021, foi realizada uma visita para configuração de *link* de comunicação entre a PCCA e a EI, além de acompanhar a equipe de “inteligência do atendimento” do grupo CCR em uma visita técnica às instalações de Araranguá/SC;
- Em 15 de fevereiro de 2022, foram realizados serviços de avaliação do funcionamento de sensores, troca de cabos de rede, ajustes da comunicação entre antenas de *internet* e verificação do funcionamento dos sistemas de forma geral;
- Em 29 de março de 2022, foram realizados reparos devido ao furto de cabos de energia dos sistemas, instalação de novas câmeras reaproveitadas de outros pontos, verificação de conexão de rede entre os pontos do sítio de pesquisa, instalação de computadores para acesso remoto aos equipamentos, ajustes nas configurações de rede e substituição de equipamentos coletores de dados;

- Em 26 de abril de 2022, foram realizados reparos e novas instalações de sistemas HS-WIM das empresas parceiras da pesquisa;
- Em 16 de maio de 2022, foram realizados reparos na conexão dos equipamentos à *internet* e remanejamento de um equipamento entre os sistemas instalados no sítio de pesagem;
- Em 25 de maio de 2022, foi realizada uma visita para estudo da localização do sistema da CAMEA em campo e decisão do ponto de colocação do sistema.
- Em 09 de julho de 2022, foram realizadas avaliações e reparos em equipamentos de coleta de dados;
- Em 11 de julho de 2022, durante o acompanhamento da obra da empresa *Consilux* (Figura 19), foram realizadas trocas e retiradas de equipamentos para manutenção em bancada, e instalação de equipamentos de coleta de dados retirados anteriormente para manutenção.

Figura 19 – Instalação e substituição sensores Consilux em Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2024)

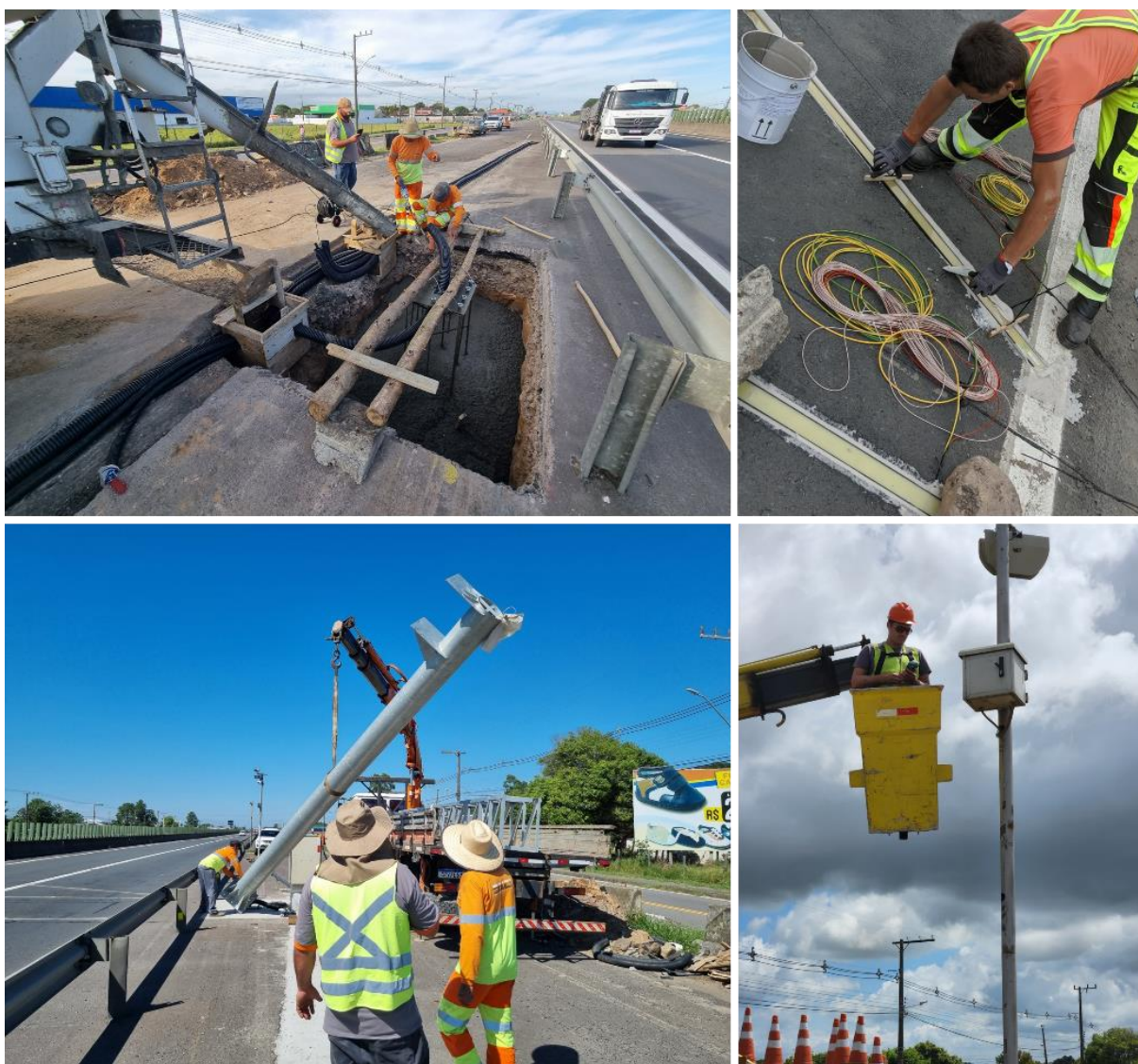
- Em 19 de setembro de 2022, foram executadas manutenções e troca de componentes que apresentaram defeito, com adequações em sistema existente, medição elétrica de diversos sensores para avaliação e comparação com os parâmetros elétricos informados em manual;
- Em 04 de outubro de 2022, ocorreu uma visita técnica com foco na implantação do semipórtico no sítio de pesagem em movimento de Araranguá/SC, com a apresentação



do projeto para o empreiteiro contratado para execução das obras de infraestrutura para a instalação do sistema CAMEA;

- Em 26 de outubro de 2022, foi realizada manutenção da falha de comunicação e acesso remoto a alguns sistemas instalados, após intempéries climáticas;
- Em 09 de novembro de 2022, foi feito o acompanhamento da primeira etapa das obras de infraestrutura para a instalação do sistema CAMEA;
- Em 20 de novembro de 2022, ocorreu a instalação do sistema de pesagem em movimento da empresa CAMEA (Figura 20).

Figura 20 – Instalação sistema CAMEA em Araranguá/SC



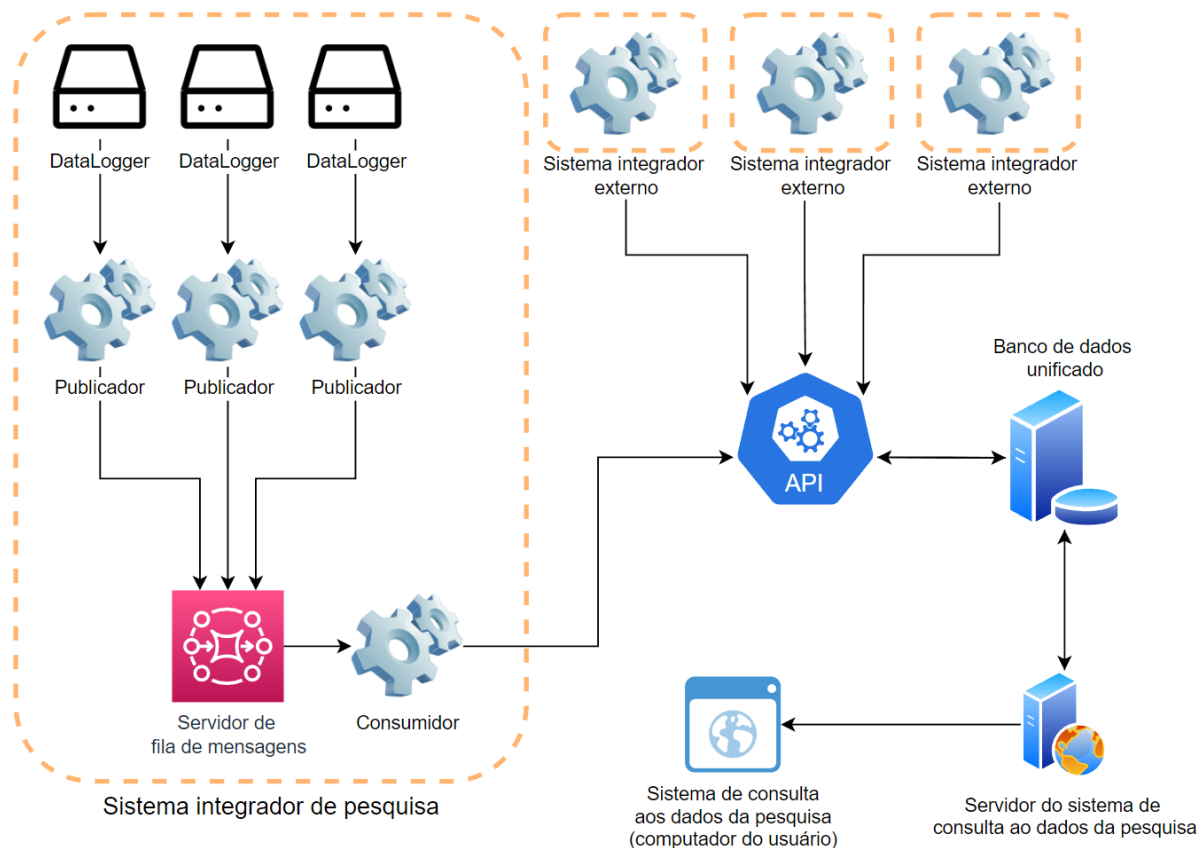
Fonte: FAPEU (2024)

- Em 07 de dezembro de 2022, foi realizado acompanhamento da finalização das obras de infraestrutura feitas para a instalação do sistema CAMEA, bem como a instalação de escâner *laser* no semipórtico e ajustes aos equipamentos instalados em postes;
- Em 19 de dezembro de 2022, ocorreu a verificação e o rearme de dispositivo de proteção elétrica, com a modificação de conexões de rede de câmera para manter ativa a coleta de imagens para a CCR, ocorrendo a instalação de servidor local para banco de dados;
- Em 08 de março de 2023, foi feita a retirada de equipamentos de poste no PPV de Araranguá/SC. Ademais, também foi realizada a edição da distância entre sensores CAMEA, instalação de computador para acesso remoto ao referido sistema, além da lacração de caixas de passagem do sistema com argamassa;
- Em 05 de abril de 2023: visita destinada ao acompanhamento e apresentação do sítio de pesagem em movimento de Araranguá/SC, em visita técnica da equipe da CCR;
- Em 10 de abril de 2023: visita destinada ao acompanhamento e à coleta de dados com Veículos Conhecidos locados por parceiros;
- Em 24 de abril de 2023: visita destinada ao acompanhamento e coleta de dados com Veículos de Referência locados por parceiros;
- Em 25 de maio de 2023: visita com o intuito de instalação de ponto de *internet* e verificação de problemas na rede;
- Em 09 de agosto de 2023, foi executada a instalação e a configuração de novos equipamentos da rede lógica do sítio de pesagem em movimento de Araranguá/SC.

### **6.3. Atividade 4.3 - Integração das diferentes tecnologias e sistemas instalados no sítio de Araranguá (HS-WIM e dispositivos de ITS)**

A integração dos diferentes sistemas e tecnologias da pesquisa foi realizada por meio de um protocolo de comunicação entre os sistemas, e da manutenção de um banco de dados unificado, com análises automatizadas dos dados recebidos. Primeiramente, foi desenvolvido um modelo conceitual para essa troca de dados. O modelo conceitual está apresentado na Figura 21.

Figura 21 – Fluxograma do modelo de integração de dados



Fonte: FAPEU (2024)

Os sistemas integradores são os sistemas que geram os registros de pesagem dos veículos passantes da rodovia. Ou seja, eles recebem as leituras dos sensores, câmeras e demais equipamentos, realizam os cálculos da classificação, peso estimado para o veículo e outras informações do registro de pesagem, e enviam tais informações ao servidor de integração de dados (*Application Programming Interface*, API). No sítio de pesquisas de Araranguá/SC, existe o sistema integrador de pesquisa (chamado de sistema LabTrans), mantido pela equipe da FAPEU, que é utilizado para a experimentação de diferentes sensores e algoritmos para a pesagem. Além do sistema integrador de pesquisa, existem os sistemas integradores externos, que são aqueles mantidos pelas empresas parceiras da pesquisa.

No sistema integrador da pesquisa, os elementos denominados *DataLogger* são os equipamentos que realizam a coleta dos dados de pesagem diretamente dos sensores em pista. Esses equipamentos realizam o tratamento dos sinais recebidos e a obtenção dos valores de pesos, incluindo a calibração de cada sensor e a combinação dos dados coletados em um registro de pesagem único. Um sistema de pesagem pode ser composto por vários *DataLoggers*. Os processos denominados “Publicadores” realizam a consulta dos dados emitidos pelos *DataLoggers* e enviam os registros de pesagem para um servidor de fila de

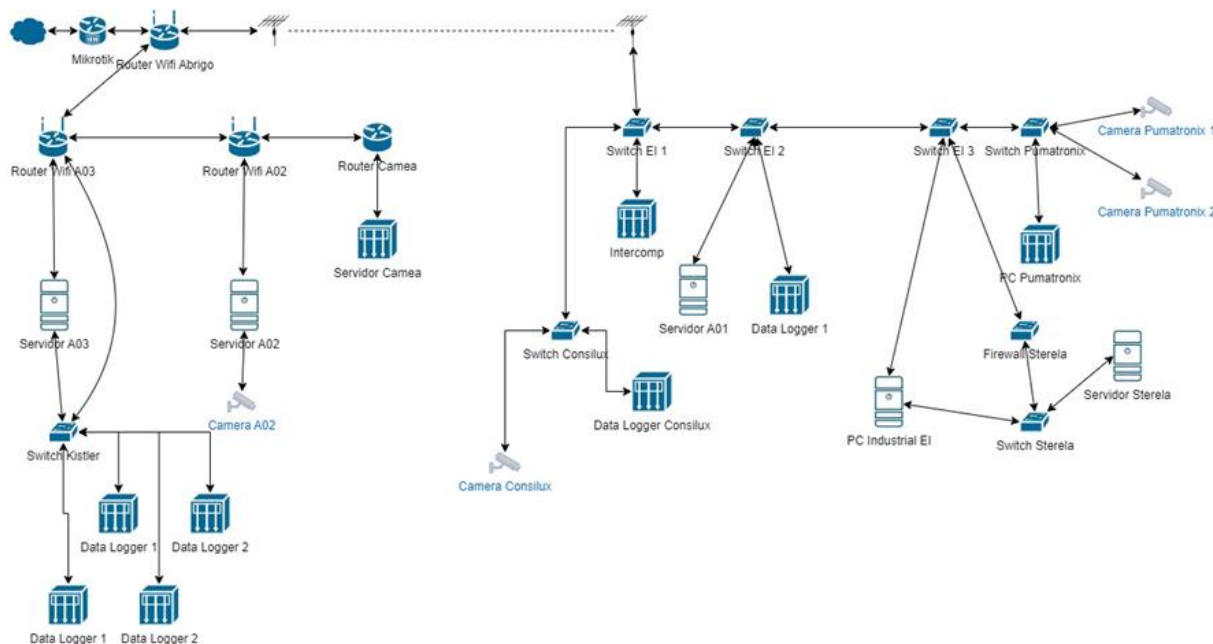
mensagens, cuja responsabilidade é guardar as mensagens simultâneas enviadas pelos equipamentos para que elas sejam processadas em tempo adequado, evitando a sobrecarga dos servidores em horários de excesso de registros e aproveitando o tempo disponível em horários com poucos registros para o processamento da fila. Outro processo, denominado “Consumidor”, faz a leitura dos registros de pesagem que estão na fila de processamento, e envia esses registros para a API.

A API pode ser compreendida como um protocolo de comunicação estabelecido entre os sistemas integradores e o servidor de banco de dados unificado. Ela define qual é o formato no qual os sistemas integradores devem enviar as informações coletadas, quais informações devem estar contidas e para qual endereço da rede as informações devem ser enviadas. Trata-se de uma estrutura de comunicação muito utilizada para a comunicação entre diferentes *softwares*, por meio da *internet* ou das redes locais. O servidor de API, portanto, fica disponível para receber as mensagens dos sistemas integradores, contendo os registros de pesagem por eles coletados. Ao receber uma mensagem com dados de pesagem, o servidor de API realiza uma verificação básica dos dados enviados para garantir que são válidos e, em caso positivo, envia os dados para o banco de dados unificado.

Para acesso aos dados da pesquisa, o sistema de consulta, desenvolvido na Atividade 1.4, é composto por um servidor de aplicativo, acessível via navegador de *internet* pelos usuários do sistema, e que realiza a consulta das informações no banco de dados unificado para disponibilização ao usuário.

Após realizado o levantamento de todos os equipamentos existentes que se tem acesso por rede, obteve-se como resultado a documentação da topologia de rede dos equipamentos e sistemas instalados em Araranguá. Além de documentar, este diagrama auxilia na manutenção física do sítio de pesagem pois, tendo o entendimento prévio de onde a falha está ocorrendo, é possível antecipar ações de correção, minimizando o tempo de reposta e o tempo da atividade de manutenção. No registro de cada equipamento, pode haver informações pertinentes para configurações específicas e para o seu endereço de rede (IP). Com as configurações documentadas, existe a facilidade na execução de manutenções de troca ou reconfiguração de equipamentos que apresentaram falhas. O desenho da topologia de rede pode ser conferido na Figura 22.

Figura 22 – Visão geral da topologia de rede de equipamentos no sítio de pesquisa



Fonte: FAPEU (2024)

Em paralelo ao mapeamento dos equipamentos existentes, foi feita a instalação de um servidor de banco de dados responsável pela coleta e armazenamento de dados dos diferentes sistemas e tecnologias por meio de interface API. O servidor foi instalado e configurado com a plataforma *Ubuntu server*. Para obter os dados dos sistemas pela interface API, o banco de dados possui microsserviços rodando na plataforma *docker*. Uma foto do servidor instalado pode ser observada na Figura 23.

Figura 23 – Servidor para banco de dados instalado no sítio de pesquisas (abrigo da PCCA)



Fonte: FAPEU (2024)


#### 6.4. Atividade 4.4 – Definição de protocolos de integração de tecnologias em Araranguá/SC para modernização da monitoração rodoviária

No que tange à definição de protocolos de integração de tecnologias em Araranguá/SC para a modernização da monitoração rodoviária, um protocolo de comunicação foi desenvolvido para possibilitar a comunicação entre diferentes sistemas e tecnologias. A comunicação foi realizada por meio de objetos JSON (formato amplamente utilizado para troca de dados em aplicações *web*) enviados por meio de uma interface API (mecanismo que permite a comunicação entre componentes de *software*). É utilizada uma API *Web* do tipo REST, que são as mais populares e flexíveis. Nesse tipo de API, clientes e servidor trocam dados utilizando HTTP, por meio de funções como “GET”, “POST”, “DELETE”, entre outras. A comunicação entre o cliente e o servidor é realizada por meio de endereços chamados de *endpoints*. A API desenvolvida possui dois *endpoints*, um utilizado para inserir um novo registro de pesagem no banco de dados unificado, e um outro para realização de consultas de dados.

Para inserir um novo registro de pesagem, é necessário enviar um objeto JSON para o endereço “http://endereçoservidor:5000/v1/weighing”, usando a função “POST”. O objeto JSON deverá ser composto pelas seguintes chaves: “*datetime*”, “*system\_id*”, “*license\_plate*”, “*speed*”, “*pavement\_temperature*”, “*num\_axles*”, “*class*”, “*gross\_weight*”, “*weight\_axle1*”, “*weight\_axle2*”, “*weight\_axle3*”, “*weight\_axle3*”, “*weight\_axle4*”, “*weight\_axle5*”, “*weight\_axle6*”, “*weight\_axle7*”, “*weight\_axle8*”, “*weight\_axle9*” e “*image*”. No Quadro 4, é apresentada uma descrição de cada campo do objeto JSON.

Quadro 4 – Campos do objeto JSON para inserção de registros pela API

Chave	Descrição	Exemplo de valor
<i>datetime</i>	Data e hora do evento de pesagem, exibido no seguinte formato: “ano-mês-dia hora:minutos:segundos”	“2022-09-01 15:16:06”
<i>system_id</i>	Código do sistema de pesagem, fornecido pelo LabTrans	1
<i>license_plate</i>	Placa do veículo	“ABC1C34”
<i>speed</i>	Velocidade do veículo no momento da pesagem	55
<i>pavement_temperature</i>	Temperatura do pavimento	25
<i>num_axles</i>	Número de eixos do veículo	3
<i>class</i>	Classe do veículo de acordo com o Quadro de Fabricantes de Veículos (QVF) do DNIT	3C
<i>gross_weight</i>	Peso total do veículo, em quilogramas	12465
<i>weight_axle1</i>	Peso do primeiro eixo do veículo, em quilogramas	4563
<i>weight_axle2</i>	Peso do segundo eixo do veículo, em quilogramas	5429
<i>weight_axle3</i>	Peso do terceiro eixo do veículo, em quilogramas	4335
<i>weight_axle4</i>	Peso do quarto eixo do veículo, em quilogramas	0

Chave	Descrição	Exemplo de valor
weight_axle5	Peso do quinto eixo do veículo, em quilogramas	0
weight_axle6	Peso do sexto eixo do veículo, em quilogramas	0
weight_axle7	Peso do sétimo eixo do veículo, em quilogramas	0
weight_axle8	Peso do oitavo eixo do veículo, em quilogramas	0
weight_axle9	Peso do nono eixo do veículo, em quilogramas	0
image	Imagem do veículo	

Fonte: FAPEU (2024)

Distinto do cadastro de registros, para realizar a consulta de dados de pesagem no banco de dados pela API, é necessário enviar um objeto JSON para o endereço “http://endereçoservidor:5000/v1/weighing”, utilizando a função “GET”. O objeto JSON deverá ser composto pelas seguintes chaves: “date\_start”, “date\_final”, “license\_plate”, “system\_id”, “num\_axles” e “class”. No Quadro 5, é observada a descrição de cada campo e a explicação de como utilizar as chaves.

Quadro 5 – Campos do objeto JSON para consulta de registros por meio da API

Chave	Descrição	Exemplo de valor
date_start	Data e hora inicial do período que o usuário deseja consultar um evento de pesagem, exibido no seguinte formato: “ano-mês-dia hora:minutos:segundos”	“2022-09-01 15:16:06”
date_final	Data e hora final do período que o usuário deseja consultar um evento de pesagem, exibido no seguinte formato: “ano-mês-dia hora:minutos:segundos”	“2022-09-01 15:30:00”
license_plate	Placa do veículo	“ABC1C34”
system_id	Código do sistema de pesagem, fornecido pelo LabTrans	1
num_axles	Número de eixos do veículo	3
class	Classe do veículo de acordo com o QVF do DNIT	3C

Fonte: FAPEU (2024)

O Produto 5, intitulado “Protocolo de integração de dados entre os sistemas de pesagem instalados em Araranguá/SC”, foi desenvolvido com os dados gerados nessa atividade. Protocolos de integração são importantes para a interconexão de diferentes sistemas e dispositivos.

## 7. Ação 5 – Coleta de Dados, Testes e Avaliações de Novas Tecnologias de Pesagem em Movimento (WIM) para Políticas de Fiscalização Direta

A infraestrutura existente em Araranguá/SC possibilita o teste de novos equipamentos e tecnologias para a pesagem em alta velocidade, permitindo que os resultados dos sistemas sejam comparados com a pesagem em baixa velocidade, obtida no PPV. Assim, a Ação 5 trata da realização de pesquisas e testes para o desenvolvimento da tecnologia de pesagem em movimento em si, utilizando a infraestrutura existente como berço para novas tecnologias no setor.

### 7.1. Atividade 5.1 – Calibração dos sistemas instalados com veículos conhecidos

Primeiramente, foi feita uma proposta de programação da calibração dos sistemas HS-WIM com veículos conhecidos. A especificação da quantidade de passadas necessárias para a calibração e para os testes é realizada com base em padrões existentes de aferição de sistemas HS-WIM da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2017) e da especificação *COST 323* (Jacob; O'brien; Jehaes, 2002). No Quadro 6, pode ser observada a previsão de voltas para um dia de atividades.

Quadro 6 – Exemplo de programação diária para a calibração dos sistemas

Turno	Atividade	Velocidade	Posição Lateral	Passagem	Volta	Duração	Horário Estimado
2º dia, manhã	Calibração	60 km/h	Esquerda	21	1	00:14	08:15
				22	2	00:14	08:29
				23	3	00:14	08:43
				24	4	00:14	08:57
				25	5	00:14	09:11
	60 km/h	Esquerda	26	1	00:14	09:25	
			27	2	00:14	09:39	
			28	3	00:14	09:53	
			29	4	00:14	10:07	
			30	5	00:14	10:21	
	Intervalo						00:30
				31	1	00:14	10:51



Turno	Atividade	Velocidade	Posição Lateral	Passagem	Volta	Duração	Horário Estimado			
2º dia, tarde	Calibração	70 km/h	Direita	32	2	00:14	11:05			
				33	3	00:14	11:19			
				34	4	00:14	11:33			
				35	5	00:14	11:47			
	Almoço									
	2º dia, tarde	Calibração	60 km/h	Direita	36	1	00:14	13:00		
					37	2	00:14	13:14		
					38	3	00:14	13:28		
					39	4	00:14	13:42		
			80 km/h	Direita	40	5	00:14	13:56		
					41	1	00:14	14:10		
					42	2	00:14	14:24		
43					3	00:14	14:38			
Coleta de dados		70 km/h	Centro	44	4	00:14	14:52			
				45	5	00:14	15:06			
				Intervalo					00:30	15:36
				46	1	00:14	15:36			
Coleta de dados	70 km/h	Centro	47	2	00:14	15:50				
			48	3	00:14	16:04				
			49	4	00:14	16:18				
			50	5	00:14	16:32				
			51	6	00:14	16:46				
			52	7	00:14	17:00				

Fonte: FAPEU (2024)

A Figura 24 expõe uma demonstração do trajeto percorrido para cada volta no percurso.

Figura 24 – Percurso para realizar uma volta pelos sistemas de pesagem

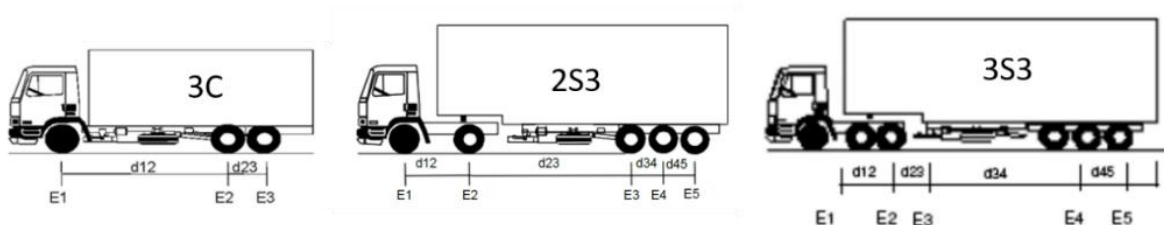


Fonte: FAPEU (2024)

Foram realizados dois eventos de calibração dos sistemas instalados com veículos conhecidos, sendo que o primeiro ocorreu nos dias 07 e 08 de fevereiro de 2023, e o segundo nos dias 06 e 07 de dezembro de 2023. Nesta etapa da calibração, utilizam-se valores de referência para obter o Coeficiente de Calibração (CC) dos equipamentos.

Foram fretados, para essa etapa, caminhões com as configurações que representam as principais classes do fluxo local: 3C, 2S3 e 3S3, apresentadas na Figura 25. Esses caminhões foram carregados com materiais sólidos, com o peso do carregamento previamente definido próximo do PBT máximo permitido para cada classe, devidamente distribuído entre os eixos.

Figura 25 – Classes selecionadas para a calibração dos sistemas de Araranguá/SC

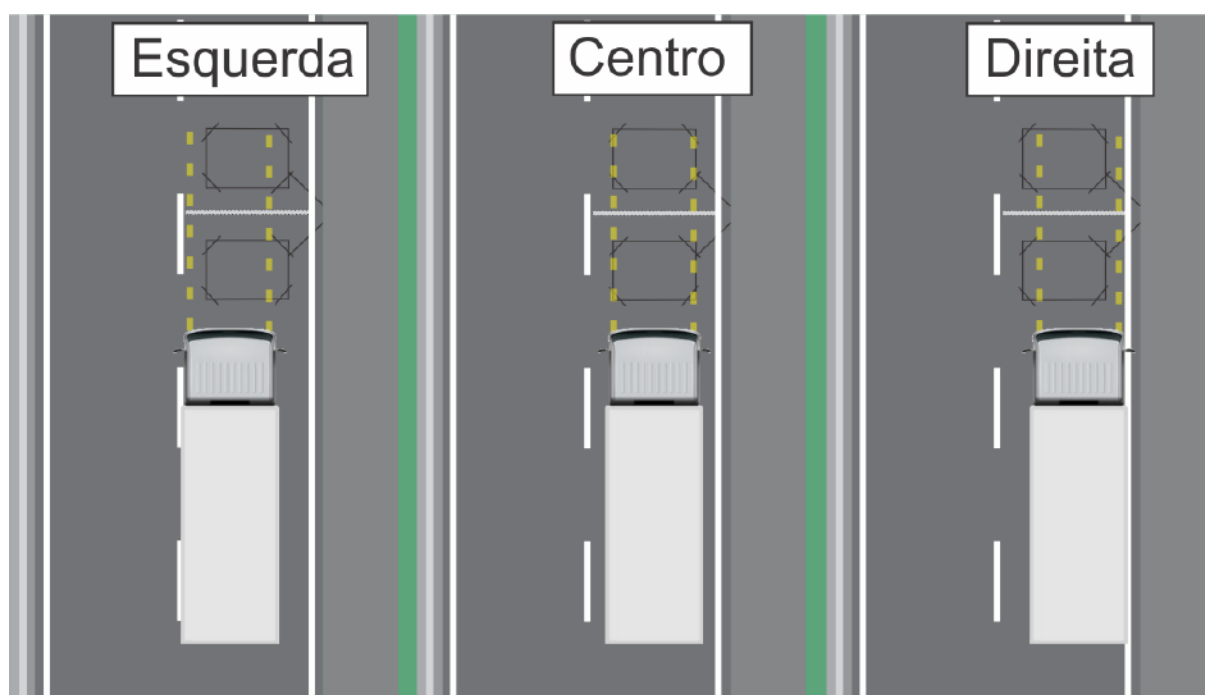


Fonte: FAPEU (2023)

Na primeira calibração, 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 ANTT, localizado em Terra de Areia/RS, no quilômetro 41 da BR-101 – sentido sul, pois a balança do PPV estava passando por reformas. Já na segunda calibração, a pesagem estática foi realizada na balança da empresa Cedro Engenharia e Mineração, localizada em Maracajá/SC, e a pesagem de referência dos veículos conhecidos, com informações por grupo de eixo, foi executada no PPV localizado em Araranguá/SC.

Uma vez carregados e acompanhados por uma equipe técnica da pesquisa, os veículos passaram por uma série de eventos controlados. Nesses eventos, foram realizadas dezenas de passagens com velocidade e aceleração controladas e em posições específicas na pista, sobre os sistemas HS-WIM instalados, como mostrado na Figura 26. A calibração foi realizada em dois tipos de sistemas: os sistemas comerciais e os sistemas desenvolvidos pelo LabTrans.

Figura 26 – Posições de passagem sobre os sensores



Fonte: FAPEU (2024)

Uma funcionalidade considerada importante para os procedimentos de calibração e testes é a colagem de adesivos nos veículos. A seguir, na Figura 27, pode ser observado um exemplo de desenho utilizado para os adesivos.

Figura 27 – Exemplo de adesivo utilizado para identificação dos veículos de teste

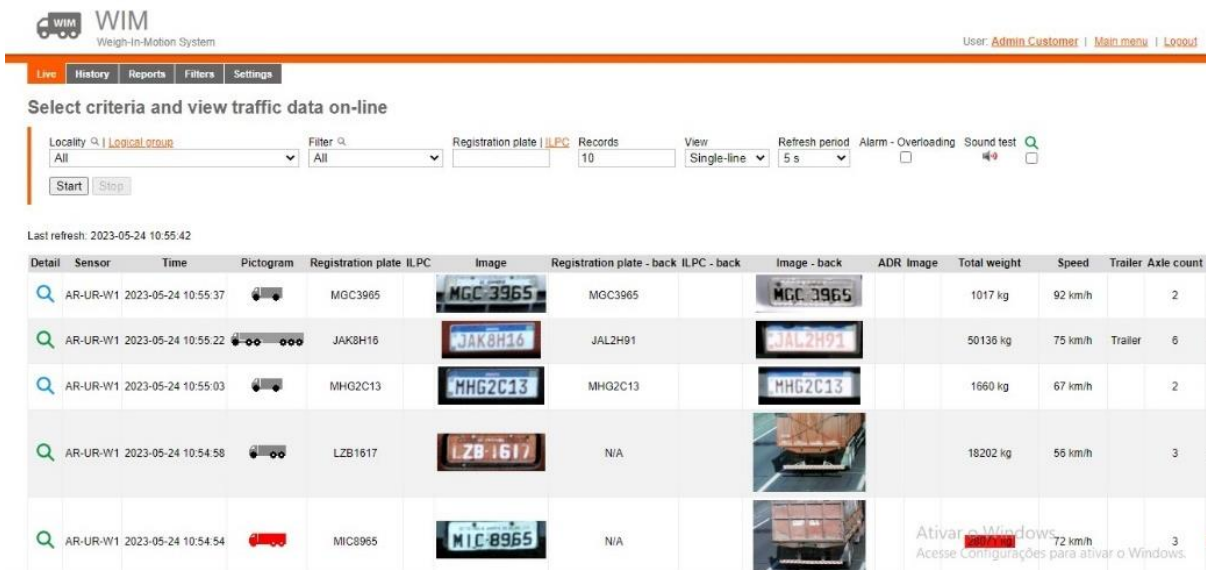


Fonte: FAPEU (2024)

Para os usuários da via, este adesivo alerta que o veículo está sendo utilizado em testes. Outro benefício do adesivo é facilitar a identificação dos veículos conhecidos que estão sendo utilizados nos testes, seja por operadores locais dos sistemas de pesagem ou até por operadores remotos, participando por meio de câmeras.

## 7.2. Atividade 5.2 – Execução de testes com veículos conhecidos

Após a primeira calibração ter sido concluída, foi possível calcular um CC para cada sistema, podendo, assim, prosseguir para a etapa de testes. A execução dos testes com Veículos Conhecidos foi realizada nos dias seguintes, após a realização da calibração, nos dias 09 e 10 de fevereiro de 2023. Os testes foram realizados com os mesmos veículos e pesos utilizados na primeira calibração, citada anteriormente, utilizando o mesmo percurso e a mesma quantidade de voltas. Posteriormente, nos dias 04 e 05 de dezembro, foram realizados novamente testes com veículos conhecidos, a fim de validar a confiabilidade dos sistemas HS-WIM em relação ao tempo. A Figura 28 apresenta um exemplo do registro de dados coletado dos Veículos Conhecidos.

**Figura 28 – Exemplo do registro de dados coletados pelos sistemas comerciais**


The screenshot shows the WIM (Weigh-In-Motion) system interface. At the top, it displays 'WIM Weigh-In-Motion System' and user information: 'User: Admin Customer | Main menu | Logout'. Below this is a navigation bar with 'Live', 'History', 'Reports', 'Filters', and 'Settings'. The main area is titled 'Select criteria and view traffic data on-line'. It includes search filters for 'Locality' (All), 'Filter' (All), 'Registration plate' (ILPC), 'Records' (10), 'View' (Single-line), and 'Refresh period' (5 s). There are also checkboxes for 'Alarm - Overloading' and 'Sound test'. A 'Start' button is visible. Below the filters, it shows 'Last refresh: 2023-05-24 10:55:42'. 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, each with a magnifying glass icon in the 'Detail' column. The first row shows a vehicle with registration plate MGC3965, a total weight of 1017 kg, and a speed of 92 km/h. The second row shows a vehicle with registration plate JAK8H16, a total weight of 50136 kg, and a speed of 75 km/h. The third row shows a vehicle with registration plate MHG2C13, a total weight of 1660 kg, and a speed of 67 km/h. The fourth row shows a vehicle with registration plate LZB1617, a total weight of 18202 kg, and a speed of 56 km/h. The fifth row shows a vehicle with registration plate MIC8965, a total weight of 18202 kg, and a speed of 72 km/h. A Windows watermark is visible in the bottom right corner of the screenshot.

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

Fonte: FAPEU (2023)

### 7.3. Atividade 5.3 – Avaliação dos resultados dos testes com veículos conhecidos

Nesta etapa, os pesos obtidos dos 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 à sua capacidade de estimar os pesos reais dos veículos passantes. Este processo de análise se inicia pela definição dos pesos de referência a serem adotados, processo que, por sua vez, deve 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 de cada registro de pesagem apresentado por cada sistema comercial. Para cada registro, são analisados: o erro na medição do 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.

Foi desenvolvida uma ferramenta, utilizando a linguagem de programação *Python*, para a geração de vários tipos de gráficos estatísticos, utilizados para fazer a avaliação dos erros dos sistemas. Com isso, os erros percentuais de cada sistema avaliado puderam ser calculados e, as suas distribuições, analisadas. Os resultados completos da etapa de verificação de precisão dos sistemas foram apresentados no Produto 6 (partes I e II) do projeto de RDT, intitulado “Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos de Peso Conhecido”.

#### **7.4. Atividade 5.4 – Coleta de dados com veículos da frota e comparação com pesagem de referência**

A Atividade 5.4 envolve a coleta de dados com Veículos da Frota e a comparação com a pesagem de referência. Esta coleta de dados tem como objetivo analisar os sistemas instalados após a calibração com Veículos Conhecidos, utilizando Veículos da Frota que trafegam pelo Sítio de Araranguá/SC. A fim de possibilitar a análise dos resultados obtidos e medir o desempenho dos sistemas, é necessária uma pesagem de referência destes veículos, no caso, proveniente do PPV de Araranguá/SC.

As informações que devem ser coletadas incluem dados como a placa de registro do veículo, o peso bruto total do veículo, bem como o peso por eixo ou peso por grupo de eixos, além de sua velocidade e sua classificação, que implica no número de eixos, distância entre os mesmos e diferenciação de rodado duplo e simples.

Foram realizadas três coletas de dados. A primeira coleta corresponde aos veículos que utilizaram o PPV ao longo de um período de 15 dias, começando em 01 de outubro até 15 de outubro de 2023. Para fins de comparação, foram coletados os dados de um sistema HS-WIM no mesmo intervalo de tempo. Dado que nem todos os veículos que transitam pelo sistema fazem uso do PPV, e alguns registros podem conter erros de leitura no peso ou na placa, tornou-se necessário o processamento dos dados brutos. Para isso, foram aplicados diversos filtros, sendo eles filtros de data, identificação, erros de classificação, velocidade e frequência. Mais detalhes acerca desses filtros podem ser encontrados no Produto 8, denominado “Testes de Campo e Coleta de Subsídios para Operacionalização das Diretrizes Técnicas e Operacionais para o Funcionamento de Sistemas HS-WIM”.

A segunda coleta de dados com veículos da frota foi executada num período de 30 dias, compreendido entre 02 de janeiro de 2024 e 31 de janeiro de 2024. As informações geradas com essa coleta podem ser vistas com mais detalhes no Produto 7.1, intitulado “Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos da Frota (I)”. Por fim, para validar o modelo de pesagem em movimento, analisando sua confiabilidade em relação ao tempo, foi realizada mais uma coleta de dados compreendida no intervalo de 01 de maio a 20 de maio de 2024. Essa última coleta de dados deu origem ao Produto 7.2, denominado “Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos da Frota (II)”, que consiste em uma continuação do Produto 7.1.

#### **7.5. Atividade 5.5 – Avaliação dos resultados dos testes com veículos da frota considerando as políticas de fiscalização (PBT ou peso por eixo)**

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

Para o tratamento dos dados, foram aplicados filtros ao conjunto de registros do PPV, visando detectar a ocorrência de erros. Primeiramente, foram removidos os dados nos quais o PBT é menor que 7.500 quilogramas, pois este peso está abaixo do peso da estrutura dos veículos sem a carga. Ainda, houve a remoção de dados que possuíam carga zerada em eixos específicos (no primeiro eixo, por exemplo), visto que todos os veículos deveriam possuir, pelo menos, dois eixos para suportar a carga total do veículo. Dessa forma, foi aplicado um filtro para selecionar apenas os veículos cujo peso em ambos os eixos fosse superior a zero. Outra característica relevante dos dados coletados é que, em alguns casos, houve erro de leitura das placas dos veículos, requerendo, portanto, que esses registros fossem eliminados da análise. Também foi necessário excluir os dados nos quais a classificação dos veículos fora realizada com erros.

A combinação dos dados do HS-WIM aos dados da balança de fiscalização é realizada por meio da correspondência das placas presentes em ambos os registros. Tendo em vista que um veículo pode ter percorrido o trajeto mais de uma vez ao longo do dia, leva-se em consideração a data e o horário da passagem do veículo, com um intervalo máximo de até dez minutos de diferença, para ser considerada a mesma passagem. Para este estudo, foram escolhidas três classes de veículos que representam a maior parte do tráfego local, levando em conta também que estas classes foram utilizadas na análise do Produto 6.

Alguns valores de erro percentual apresentam discrepâncias em relação ao conjunto de dados, tanto em termos de PBT quanto em valores por eixo e grupo de eixo, que podem afetar os resultados da análise. Portanto, foram utilizados métodos para identificação de *outliers*. Mais detalhes das análises realizadas estão presentes no Produto 7.

## 8. Ação 6 – Participação em Eventos

Durante o projeto, houve a participação em eventos, tanto nacionais quanto internacionais. Esse tipo de engajamento é fundamental para a criação de parcerias estratégicas e para a descoberta de novas tecnologias, além de proporcionar um compartilhamento de conhecimentos e experiências.

### 8.1. Participação de viagem exploratória internacional

A equipe de pesquisa do projeto de RDT participou da organização e da realização de uma viagem internacional que contou com a participação de representantes do Ministério da Infraestrutura (MINFRA), da Secretaria Nacional de Transportes Terrestres (SNTT), da ANTT, da UFSC e da Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR). O objetivo da viagem foi realizar um *benchmarking* internacional para aprofundar o conhecimento dos representantes das entidades brasileiras sobre a pesagem em movimento em alta velocidade com tecnologias HS-WIM. A viagem contou com diversos eventos, incluindo *workshops* com especialistas e membros do governo da República Tcheca (que incluem a empresa CAMEA, parceira da pesquisa) e da Holanda; um encontro com a Embaixadora Brasileira na República Tcheca (Figura 29); uma Reunião na Embaixada Brasileira na Holanda (Figura 30); uma visita técnica a sítios com soluções de pesagem em alta velocidade e centros de controle operacional; e, por fim, a participação no evento “*Intertraffic Amsterdam 2022*”.



Figura 29 – Encontro na Embaixada Brasileira em Praga, República Tcheca



Fonte: FAPEU (2022)

Figura 30 – Reunião na Embaixada Brasileira em Haia, Holanda



Fonte: FAPEU (2022)

## 8.2. Recepção de visitantes em Araranguá/SC

A realização de visitas técnicas ao local de execução da pesquisa estava prevista no plano de trabalho, incluindo um protocolo para a realização das visitas técnicas. Foram realizadas três visitas técnicas de representantes da ANTT, do MINFRA e de outras entidades ao sítio de pesquisas de Araranguá.

A realização de visitas técnicas das entidades brasileiras aos sistemas instalados em Araranguá é de essencial importância para a melhoria dos processos de fiscalização de peso no Brasil, uma vez que demonstra às entidades e seus representantes o funcionamento dos sistemas HS-WIM para a fiscalização direta, dando maior conhecimento aos profissionais envolvidos sobre o funcionamento dos sistemas e as suas possibilidades de aplicação.

As seguintes visitas foram realizadas ao sítio de pesquisas:

- Em 17 de maio de 2022, foi realizada uma visita técnica com representantes da Superintendência de Fiscalização de Serviços de Transporte Rodoviário de Cargas e Passageiros (SUFIS), da ANTT, ao sítio de pesquisas de Araranguá (Figura 31). A visita foi acompanhada pela equipe de pesquisa do RDT e por representantes da concessionária CCR Via Costeira. O funcionamento dos sistemas HS-WIM foi demonstrado com a visualização dos sensores em pista, explicação do seu funcionamento e visualização dos registros de pesagem em tempo real.

Figura 31 – Visita de representantes da SUFIS e da concessionária ao sítio de pesquisas de Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2022)

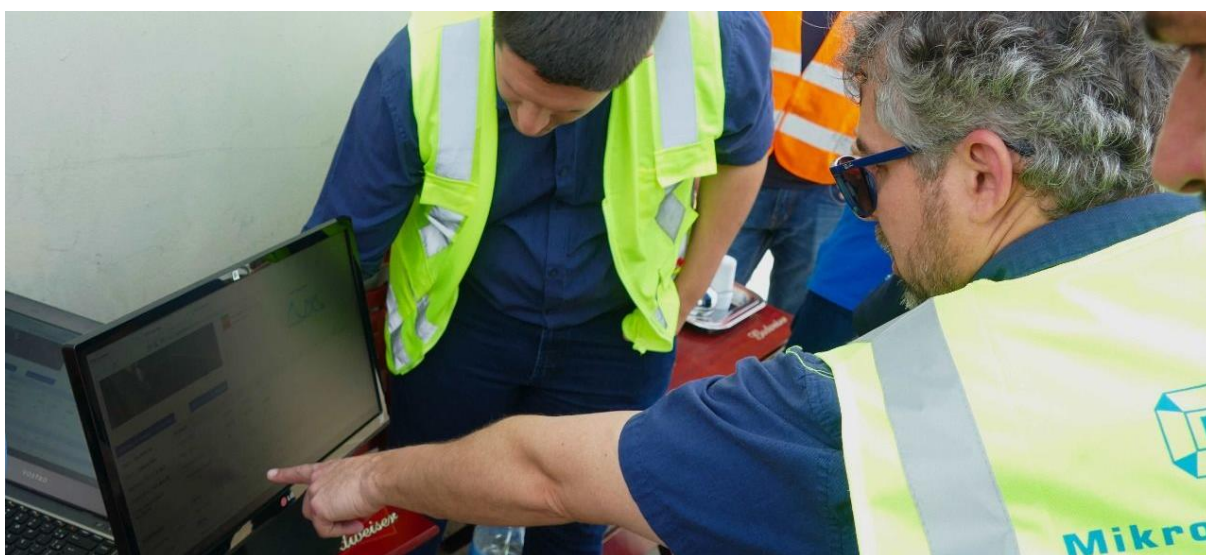
- Em 24 de julho de 2022, representantes da Diretoria da ANTT, incluindo o Diretor-Geral Rafael Vitale Rodrigues, estiveram em campo para visitar as instalações de Araranguá/SC (Figura 32 e Figura 33). A visita foi acompanhada por representantes da equipe de pesquisa do projeto de RDT, da concessionária e da UFSC. Foram demonstrados os sistemas HS-WIM e o seu funcionamento, além da visualização dos resultados da pesagem em tempo real e o esclarecimento de dúvidas dos participantes sobre a tecnologia apresentada.

Figura 32 – Visita de representantes da Diretoria da ANTT ao sítio de pesquisas de Araranguá/SC



Fonte: FAPEU (2022)

Figura 33 – Demonstração do resultado dos sistemas durante visita da diretoria da ANTT



Fonte: FAPEU (2022)

- Em 02 de agosto de 2022, representantes do MINFRA, da SNTT, da Secretaria Nacional de Trânsito (SeNATRAN), do DNIT e da ANTT realizaram uma visita técnica às instalações do sítio de pesquisas, com o objetivo de conhecer o funcionamento dos sistemas HS-WIM e levantar subsídios para a discussão das normas e leis da fiscalização direta de peso (Figura 34).

Figura 34 – Visita dos representantes das entidades brasileiras no sítio de pesquisa de Araranguá



Fonte: FAPEU (2022)

### 8.3. Participação do *workshop* “Vias Seguras”

A equipe de pesquisa do projeto de RDT participou, nos dias 17 e 18 de maio de 2023, do *workshop* “Vias Seguras”, organizado pela ANTT. No evento, o LabTrans/UFSC também participou como expositor de um estande, no qual os profissionais da equipe estiveram disponíveis para interagir com os participantes sobre os seus projetos de pesquisa de forma geral, incluindo este projeto de RDT. O principal conceito desse evento foi abordar a segurança nas rodovias e ferrovias federais concedidas, assim como o transporte de passageiros e cargas. O evento, que contou com estandes contendo informações práticas e materiais voltadas à segurança, aconteceu na sede da ANTT, em Brasília/DF, em formato presencial e com transmissão *on-line* ao vivo pelo canal da ANTT no *YouTube*. O *workshop* contou também com palestras e conversas, tendo como tópicos os seguintes itens:

- Como melhorar a qualidade de dados de sinistros: coleta, tratamento, divulgação;
- O desafio da segurança nas passagens em nível;

- O desafio da gestão de frota e motoristas;
- Como os Pontos de Parada e Descanso (PPDs) podem contribuir para a segurança viária;
- PROREV: Iniciativa AZ+;
- Programa Vias Seguras (PVS-ANTT);
- Ações para tornar as vias mais seguras;
- Década de ação pela segurança viária: um mundo livre de vias de alto risco;
- A resposta brasileira frente aos inúmeros sinistros de trânsito;
- Como a modelagem de rodovias e a escolha de materiais podem ajudar a salvar vidas;
- Carta de intenção por vias mais seguras;
- Desafios do transporte ferroviário nos centros urbanos;
- Como ações de atenção à saúde, à jornada de trabalho e ao descanso dos condutores podem melhorar a segurança nas vias;
- O papel da inovação para um transporte mais seguro.

#### **8.4. Participação do *workshop* “SandBox Regulatório”**

No dia 08 de maio de 2024, a equipe de pesquisa do projeto de RDT participou do *workshop* “Sandbox Regulatório”, de pesagem em movimento na velocidade da via, organizado pela ANTT. O evento teve como objetivo discutir os avanços e os desafios do setor, além de buscar soluções para superar os obstáculos atuais. O *workshop* incluiu palestras e conversas, abordando os seguintes temas:

- Apresentação dos resultados do *Sandbox*;
- Tecnologias de pesagem e metrologia;
- Experiências com HS-WIM;
- Desafios regulatórios na implementação do HS-WIM.

## 9. Extra

Este capítulo conta com algumas atividades que não foram previstas no cronograma físico financeiro, porém são consideradas importantes para a evolução da pesquisa em HS-WIM.

### 9.1. Homologação do sistema Consilux pelo INMETRO

O desenvolvimento de sistemas de pesagem em movimento está, atualmente, em uma fase de transição, em que equipamentos já estão sendo homologados pelo INMETRO. Isso indica que já aconteceu e estão acontecendo modificações nas normas e na legislação para o sustento da fiscalização a partir do uso desses tipos de sistema.

Um dos parceiros, com equipamentos instalados no trecho (Consilux), obteve a homologação do seu sistema junto ao INMETRO. A homologação foi publicada no SEI/Inmetro – 1528939, pela Portaria Inmetro/Dimel nº 98, de 31 de maio de 2023. Para isso, foram realizadas diversas etapas de desenvolvimento e, também, atividades de campo. As etapas práticas desse evento consistiram em calibração e duas etapas de homologação. Para estes eventos, foi necessário organizar a locação de Veículos de Referência e encontrar uma balança tradicional já certificada pelo INMETRO, para ser utilizada como referência. O procedimento de calibração é caracterizado por cada empresa e, normalmente, consiste em diferentes passadas com os Veículos de Referência em diferentes velocidades de interesse. A coleta de dados de pesagem pelo INMETRO, para a homologação, é realizada em tempo real. Em uma primeira etapa, é feita a coleta e a verificação dos parâmetros de precisão atingidos pelo sistema e, em uma etapa posterior, é feito o ensaio para confirmação da repetibilidade do equipamento. A equipe de pesquisa do projeto de RDT acompanhou e apoiou as etapas realizadas pela empresa neste processo.

### 9.2. Representação 3D

No âmbito da pesquisa foi desenvolvida uma representação 3D, em *software* BIM (*Building Information Modeling*), do sítio de pesquisa em Araranguá/SC, sendo uma ferramenta valiosa para a visualização e o planejamento das operações. Essa modelagem tridimensional detalhada permite uma compreensão mais clara da disposição dos diferentes sistemas de pesagem em alta velocidade (HS-WIM) e das infraestruturas associadas. Ademais, esta ferramenta facilita o estabelecimento de novas parcerias, pois oferece uma visão intuitiva do ambiente de pesquisa. Visualizações da representação 3D da EI, dos trechos experimentais

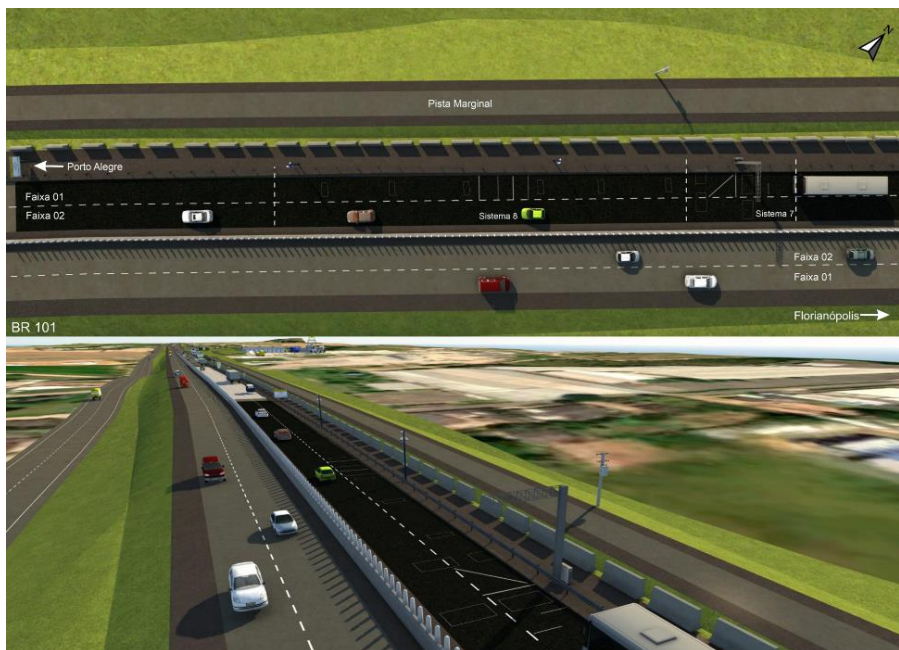
em PCBE e PCCA e do PPV podem ser contempladas, respectivamente, na Figura 35, na Figura 36, na Figura 37 e na Figura 38.

Figura 35 – Representação 3D da EI



Fonte: FAPEU (2024)

Figura 36 – Representação 3D do PCBE



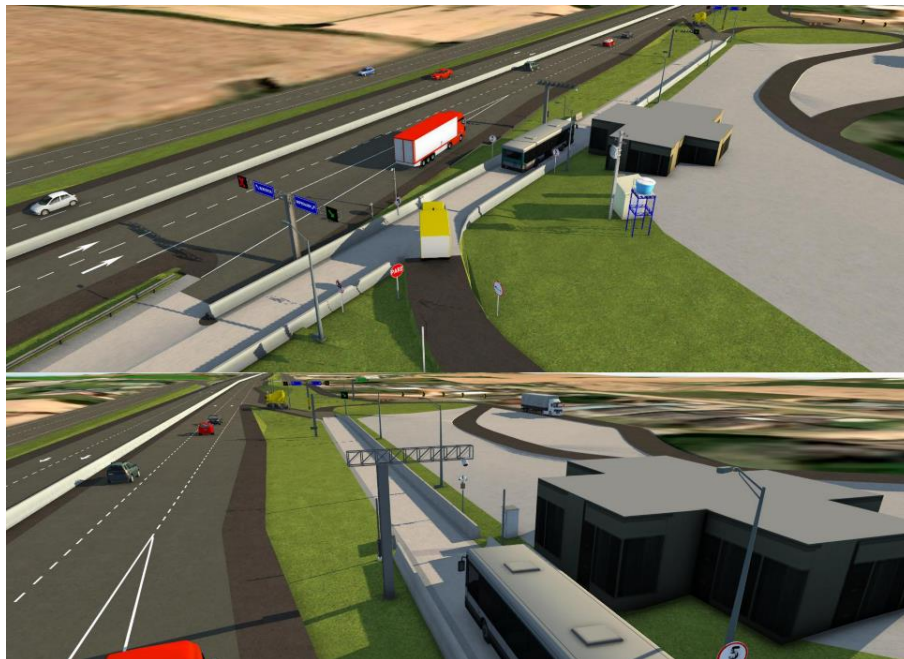
Fonte: FAPEU (2024)

Figura 37 – Representação 3D do PCCA



Fonte: FAPEU (2024)

Figura 38 – Visão conceitual do PPV



Fonte: FAPEU (2024)



O sítio de pesquisa possui uma estrutura especializada com dois diferentes tipos de pavimentação e 11 sistemas de pesagem em movimento instalados. A criação de uma representação 3D do sítio de pesquisa não só aprimora a gestão e o planejamento internos, mas serve como um meio de comunicação e atração de novos parceiros, demonstrando, de forma clara e convincente, o potencial e as capacidades do sítio de pesquisa em Araranguá/SC.

## 10. Considerações Finais e Produtos Gerados

A fiscalização direta do peso de veículos com sistemas *High Speed Weig-in-Motion* (HS-WIM), quando comparados com postos de pesagem tradicionais, permitem a implementação de uma estrutura de fiscalização mais simples e econômica. Esses sistemas realizam a coleta de dados de forma automática e contínua diretamente na pista de rolamento, possibilitando a inspeção do peso de todos os veículos que trafegam por um determinado ponto da rodovia. O presente trabalho deu sequência ao processo de definição dos conceitos operacionais da fiscalização direta com HS-WIM no Brasil e forneceu as primeiras diretrizes específicas para a normatização dessa modalidade de fiscalização.

A pesquisa realizada identificou recomendações relevantes para o desenvolvimento dos programas de fiscalização com HS-WIM e forneceu um panorama global dos principais desafios enfrentados e sua implementação. Observou-se que o aspecto mais básico para o sucesso da implementação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta é a adoção de métodos e procedimentos que assegurem que nenhum veículo pesado seja multado de forma injusta. Uma minuta de normativo com diretrizes técnicas e parâmetros de desempenho e uma minuta normativa com requisitos de projetos foram elaboradas, pois a padronização desse tipo de solução para a fiscalização do peso de veículos é importante para que se possa normalizar a sua operação e garantir os seus níveis de qualidade.

O sítio de pesquisa em Araranguá/SC conta com diversas tecnologias de pesagem em alta velocidade. No âmbito da pesquisa, a integração desses diferentes sistemas é crucial para facilitar a coleta e o gerenciamento dos dados. Por esse motivo, foi desenvolvido um protocolo de integração, que se mostrou eficaz em sua funcionalidade. A integração não se limitou aos sistemas antigos, mas também inclui a identificação e a instalação de novas tecnologias concedidas a partir de parcerias com empresas comerciais. A gestão adequada das informações coletadas foi essencial para maximizar o potencial da pesquisa desenvolvida.

Coletas de dados para avaliação da pesagem dos sistemas HS-WIM foram efetuadas, seguindo os critérios de classificação de três metodologias de análise diferentes (INMETRO, OIML e COST 323). Com a utilização de veículos de peso conhecido, o resultado mais relevante obtido por um sistema HS-WIM foi a classificação máxima (1A), quando avaliado pelos parâmetros de supervisão meteorológica do INMETRO. Esse mesmo sistema foi classificado, também, utilizando os padrões internacionais OIML e COST 323. Na metodologia OIML, a classe atingida

foi 5F, e, por meio das especificações da COST, sua classificação mais alta atingida foi B+(7). Já na análise de desempenho realizada com veículos da frota passante, a classificação do sistema citado atinge a mesma para a COST 323, B+(7), e classes mais baixas nas outras metodologias – 3B para o INMETRO e 10F no método OIML. Mais detalhes dos resultados obtidos são encontrados no Produto 6 (I e II) e no Produto 7 (I e II).

Testes de campo também foram executados, com o objetivo de avaliar a viabilidade dos sistemas na execução de tarefas essenciais à fiscalização direta, como identificação de excesso de carga, classificação de veículos e análise de imagens para registro e identificação. Quanto à identificação de excesso de carga, os erros percentuais apresentados pelo sistema comercial, em relação ao peso bruto total, ficam em torno de 3 %, sendo que o máximo é de 14,4 % e, o mínimo, de 19,4 %. O sistema HS-WIM revela-se viável e consistente na execução da tarefa de classificação de veículos, na qual foram feitos cálculos para estimar um intervalo de confiança, tendo como resultado um intervalo de confiança que varia de 90,51 % a 92,18%. Já a análise das imagens para registro de identificação foi realizada de forma observacional, considerando cinco situações distintas do cotidiano e, também, levando em conta diferentes critérios: resolução, nitidez, cor, distorção e iluminação. Os resultados indicaram que a maioria das imagens apresentam uma qualidade adequada, permitindo a visualização de detalhes importantes.

Por fim, a pesquisa sobre os sistemas de pesagem em movimento a alta velocidade (HS-WIM) demonstrou a viabilidade e a eficácia dessa tecnologia na modernização da fiscalização de excesso de carga em rodovias. As participações em eventos nacionais e internacionais trouxeram diversos avanços estratégicos e práticos, nos quais *networks* foram realizados e colaborações estabelecidas, trazendo, também, uma visão ampla do desenvolvimento nacional e global na área. Portanto, o desenvolvimento desses sistemas pode representar um avanço significativo na fiscalização direta, contribuindo para um transporte mais seguro e sustentável.

### **10.1. Produtos elaborados no decorrer do projeto**

Estão apresentados, como anexo a este relatório, todos os produtos elaborados e entregues:

- Produto 1 – Documentos Técnicos para Subsidiar a Normatização do Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso.
- Produto 2 – Diretrizes para o Registro de Infrações e Aplicação de Medidas Administrativas em Sistemas de Fiscalização Direta de Peso.
- Produto 3 – Minuta de Normativo com Diretrizes Técnicas e Parâmetros de Desempenho para a Fiscalização Direta com Sistemas HS-WIM.

- Produto 4 – Minuta de Normativo com os Requisitos de Projeto dos Sistemas HS-WIM para Fiscalização Direta e o Fluxo Sugerido de Submissão e Aprovação dos Projetos entre as Concessionárias e a ANTT.
- Produto 5 – Protocolo de Integração de Dados entre os Sistemas de Pesagem Instalados em Araranguá/SC.
- Produto 6 (I) – Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos de Peso Conhecido (I).
- Produto 6 (II) – Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos de Peso Conhecido (II).
- Produto 7 (I) – Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos da Frota (I).
- Produto 7 (II) – Desempenho dos Sistemas HS-WIM em Araranguá/SC em Testes com Veículos da Frota (II).
- Produto 8 – Testes de Campo e Coleta de Subsídios para Operacionalização das Diretrizes Técnicas e Operacionais para o Funcionamento de Sistemas HS-WIM.

## **10.2. Equipamentos adquiridos com a Verba de RDT**

Item 1.4 do cronograma físico financeiro: Implantação de Semipórtico e sistema de sensores de pesagem em alta velocidade.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. E1318-09: **Standard specification for Highway Weigh-In-Motion (WIM) systems with user requirements and test methods**. ASTM International, 2017.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **“A pesagem dinâmica é a ferramenta essencial para conseguirmos essa evolução na rodoviária do país”, afirma Guilherme Bianco**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/noticias/201ca-pesagem-dinamica-e-a-ferramenta-essencial-para-consequirmos-essa-evolucao-na-rodoviaria-do-pais201d-afirma-guilherme-bianco>. Acesso em: 24 jul. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **Proposta de modelo de operação de sistemas HS-WIM para fiscalização direta**. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres – ANTT. **Resolução nº 5.379 de 05 de julho de 2017**. Agência Nacional de Transportes Terrestres: Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Código de Trânsito Brasileiro – CTB. **Lei nº 9.503 de 23 de setembro de 1997**. Congresso Nacional: Brasília, 1997.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. **Manual brasileiro de sinalização de trânsito**. Volume III Sinalização Vertical de Indicação. Conselho Nacional de Trânsito: Brasília, DF, 2014.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. **Resolução nº 459 de 29 de outubro de 2013**. Conselho Nacional de Trânsito: Brasília, DF, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. **Resolução nº 526 de 29 de abril de 2015**. Conselho Nacional de Trânsito: Brasília, DF, 2015.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Programa brasileiro de prevenção à prática de sobrepeso**. Brasília, DF, 2018.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. **Quadro de Fabricantes de Veículos – QFV**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes: Brasília, DF, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/operacoes-rodoviaras/pesagem/QFV2012ABRIL.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2024.

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN. **Portaria nº 870 de 26 de outubro de 2010**. Brasília, DF: Departamento Nacional de Trânsito, 2010.

BRASIL. Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN. **Portaria nº 63 de 31 de março de 2009**. Departamento Nacional de Trânsito: Brasília, DF, 2009. Disponível em: [https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/portarias/2009/portaria\\_denatran\\_63\\_09.pdf](https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/portarias/2009/portaria_denatran_63_09.pdf). Acesso em: 24 jul. 2024.

BRASIL. **Lei nº 95, de 26 de fevereiro de 1998**. Congresso Nacional Brasília, DF, 1998.

BRASIL. **Lei nº 14.229, de 21 de outubro de 2021**. Congresso Nacional: Brasília, DF, 2021.

BURNOS, P.; GAJDA, J.; SROKA, R. **Accuracy requirements for weigh-in-motion systems for direct enforcement**. In: ICWIM8: 8th INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION, 8., 2019, Praga. **Proceedings** [...]. Praga: 2019.

BURNOS, P.; RYS, D. The effect of flexible pavement mechanics on the accuracy of axle load sensors in vehicle weigh-in-motion systems. **Sensors (Switzerland)**, v. 17, n. 9, 2017.

CHOU, C. **Applying the High-Speed Weigh-In-Motion to law enforcement**. SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PESAGEM EM MOVIMENTO: Florianópolis, 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT (2023). **Pesquisa CNT de rodovias 2023**. Brasil: CNT, 2023. Disponível em: <https://pesquisarodovias.cnt.org.br/conteudo>. Acesso em: 24 jul. 2024.

COTTINEAU, L.-M. *et al.* **Direct enforcement of overload by WIM**. In: ICWIM7: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. **Proceedings** [...]. Foz do Iguaçu: 2016

CROSS. **Free-flow dynamics weights system | OptiWIM**, 2021. Disponível em <https://www.optiwim.com>. Acesso em: 24 jul. 2024.

COST. **COST 323: Weigh-in-Motion of road vehicles: final report**. Versão 3.0. European WIM specification. Bruxelas, 1999. Disponível em: [https://www.is-wim.org/doc/ijhd\\_hvs\\_jacob.pdf](https://www.is-wim.org/doc/ijhd_hvs_jacob.pdf). Acesso em: 24 jul. 2024.

DE CEUSTER, G. *et al.* Effects of adapting the rules on weights and dimensions of heavy commercial vehicles as established within directive 96/53/EC. **Tren/G3/318/2007**, p. 1–315, 2008.

DOUPAL, E. *et al.* **One year “WIM Direct Enforcement” experiences in Czech Republic**. In: ICWIM6: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION, 6., Dallas, 2012. **Proceedings** [...]. Dallas: 2012

DOUPAL, E. **HS-WIM Direct Enforcement**. Workshop Weigh-In-Motion for enforcement: Amsterdam, 2014. Disponível em: [http://www.is-wim.org/doc/workshop\\_enf140326\\_doupal.pdf](http://www.is-wim.org/doc/workshop_enf140326_doupal.pdf). Acesso em: 24 jul. 2024.

DOUPAL, E.; ADAMEOVA, Z.; KRIZ, I. **Start of direct enforcement in the Czech Republic**. In: ICWIM7: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. **Proceedings** [...]. Foz do Iguaçu: 2016.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION – FHWA. **Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)**. Washington, DC: FHWA, 2009. p. 325-329. Disponível em: <http://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2009/part2ithu2n.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2024.

FRANCESCHI, L. *et al.* Elaboração de um processo multicritérios para apoio à localização de postos de pesagem em malhas rodoviárias. *In: 33 CONGRESSO ANUAL DA ANPET, 33., 2019. Anais [...]. 2019.*

FUCIK, O. *et al.* WIM enforcement systems – in the field experience. *In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. Proceedings [...]. Foz do Iguaçu: 2016.*

GAJDA, J.; BURNOS, P.; SROKA, R. Accuracy assessment of Weigh-in-Motion systems for vehicle's direct enforcement. **IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine**, v. 10, n. 1, p. 88–94, 2018.

GAJDA, J.; BURNOS, P.; SROKA, R. Weigh-in-Motion systems for direct enforcement in Poland. *In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. Proceedings [...]. 2016.*

GEVAERD, B. *et al.* Evaluation of a high-speed weighing station on a Brazilian highway. *In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. Proceedings [...]. Foz do Iguaçu: 2016.*

GOLTSMAN, H. *et al.* Test of WIM sensors and systems under Brazilian conditions. *In: HVPParis – INTERNATIONAL CONFERENCE ON HEAVY VEHICLES. Proceedings [...]. Paris: 2018.*

GUERSON, L. *et al.* Development of a WIM data quality management system for the Brazilian federal road network. *In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. Proceedings [...]. Foz do Iguaçu: 2016b.*

GUERSON, L. *et al.* Test-site for evaluation of high-speed WIM and ITS solutions in Brazilian conditions. *In: ICWIM7 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. Proceedings [...]. Foz do Iguaçu: 2016a.*

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

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\\_numeracao=00874&num\\_documento=002](http://www.inmetro.gov.br/Sidoq/pesquisa_link.asp?seq_tipo_documento=4&cod_uo_numeracao=00874&num_documento=002). Acesso em: 24 jul. 2024..

JACOB, B.; COTTINEAU, L.-M. Weigh-in-motion for direct enforcement of overloaded commercial vehicles. *Transportation Research Procedia. Proceedings [...]. 2016.*

JACOB, B.; FEYPELL-DE LA BEAUMELLE, V. Improving truck safety: potential of Weigh-in-Motion technology. **IATSS Research**, v. 34, n. 1, p. 9–15, 2010.

JACOB, B.; VAN LOO, H. **Standardization of Weigh-in-Motion in Europe**. In: ICWIM6: 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION, 6., Dallas, 2012. **Proceedings** [...]. Dallas: 2012.

KISTLER. **WIM reloaded: KiTraffic Digital, the unique Weigh In Motion solution**. Kistler, 2021. Disponível em: <https://www.kistler.com/en/solutions/traffic-solutions/weigh-in-motion/wim-reloaded-kitraffic-digital-the-unique-weigh-in-motion-solution>. Acesso em: 24 jul. 2024.

KLEIN, E. *et al.* **High-Speed Weigh-in-Motion road tests in France**. In: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION, 8., Praga, 2019. **Proceedings** [...]. Praga: 2019.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE – OIML. **OIML R 134-1: automatic instruments for weighing road vehicles in motion and measuring axle loads. Part 1: Metrological and technical requirements – Tests**, 2006.

OTTO, G. *et al.* Study of WIM sensor electro-mechanical behavior: a model in the frequency domain. In: ICWIM7: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. **Proceedings** [...]. Foz do Iguaçu: 2016.

OTTO, G.; MOMM, L.; VALENTE, A. M. Study of the dynamic effects of loads and actions to reduce the uncertainties. In: ICWIM8: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION, 8., Praga, 2019. **Proceedings** [...]. Praga: 2019.

POSPISEK, T. **Challenges of HS-WIM direct enforcement and best practices with local legislation**. Zurique: 2020.

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

RONAY-TOBEL, B. *et al.* Weight enforcement network of Hungary. In: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION, 8., Praga, 2019. **Proceedings** [...]. Praga: 2019.

SHINOHARA, K. *et al.* Brazilian PIAF model and the direct enforcement project. In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON WEIGH-IN-MOTION & PIARC WORKSHOP, 7., 2016, Foz do Iguaçu. **Proceedings** [...]. Foz do Iguaçu: 2016

TRAFFIC TECHNOLOGY. **Czech government approves overweight truck enforcement WIM system**, 2019. Disponível em: <https://www.traffictoday.com/news/tolling/czech-government-approves-overweight-truck-enforcement-wim-system.html>. Acesso em: 24 jul. 2024.

TURNER, D. S.; NICHOLSON, L. A. **A synthesis of safety implications of oversize/overweight commercial vehicles**. Tuscaloosa, Alabama: 2009. Disponível em: <http://utca.eng.ua.edu/files/2011/10/07115-Final-Report.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2024.

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