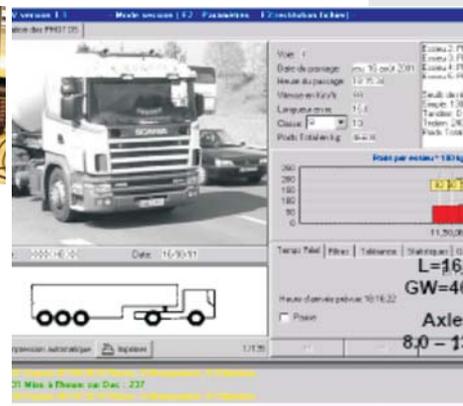


# Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento



**Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento**  
Convênio TT102/2007

**Levantamento de Sistemas de Pesagem em Movimento**  
**Existentes no Mundo**

Novembro de 2007



Laboratório de Transportes e Logística



**NEP**

Núcleo de Estudos de Pesagem

---

Convênio TT 102/2007 DNIT / UFSC  
IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO

**FICHA TÉCNICA**

**DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTES – DNIT**

Luiz Antônio Pagot  
Diretor Geral DNIT

Hideraldo Luiz Caron  
Diretor de Infra-Estrutura Rodoviária

Luiz Cláudio dos Santos Varejão  
Coordenador Geral de Operações Rodoviárias

João Batista Berretta Neto  
Coordenador de Operações

**SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL/DNIT/SC**

Engº João José dos Santos  
Superintendente Regional de Santa Catarina

Engº Edegar Martins  
Supervisor de Operações

Engº Névio Antonio Carvalho  
Área de Engenharia e Segurança de Trânsito

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

Alvaro Toubes Prata  
Reitor

Carlos Alberto Justo da Silva  
Vice Reitor

Julio Felipe Szremeta  
Diretor do Centro Tecnológico

Antônio Edésio Jungles  
Chefe do Departamento de Engenharia Civil

**LABORATÓRIO DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA - LABTRANS**

Amir Mattar Valente, Dr.  
Coordenador Técnico do Convênio

**NÚCLEO DE ESTUDOS DE PESAGEM**

**EQUIPE TÉCNICA**

Valter Zanela Tani, Dr.  
Hélio Goltsman, Engº. Eletrônico  
Márcio Roberto Paiva, Dr.  
Fernando da Rocha Pantoja, PhD.  
Flavio De Mori, Dr.  
Gustavo Garcia Otto, Engº. Civil  
Paula de Oliveira Chaves, Engº. Civil

**EQUIPE DE APOIO**

Daniel Aragão, Administrador

---

---

## APRESENTAÇÃO

---

## APRESENTAÇÃO

Trata o presente relatório de um produto do Convênio 102/2007 – Projeto “Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento”, firmado entre o Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT e a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

O projeto em tela prevê, como uma de suas mais importantes etapas, a realização de um experimento para avaliação do estado da arte internacional em sistemas de pesagem em movimento, sob condições brasileiras de operação.

A partir de levantamentos realizados, sobretudo, no decorrer de uma viagem de estudos realizada à Europa, durante o mês de outubro de 2007, quando a equipe do projeto foi recebida por representantes governamentais, de institutos de pesquisa e de empresas privadas, de sete países: Romênia, Eslovênia, Suíça, Alemanha, Holanda, Bélgica e França, este relatório apresenta um conjunto de informações técnicas relacionadas à sistemas de pesagem em movimento, identificando tecnologias, acurácia, fatores de erro, custos, aplicações e usos. Apresenta, também, conceitos e características de sistemas de pesagem com a utilização de múltiplos sensores. Por fim, o relatório apresenta um conjunto de sistemas comerciais de pesagem em movimento que fornecem como saída a pesagem em movimento por eixo e total do veículo e possibilitam também a classificação de veículos por tipo, contagem volumétrica e velocidade, dentre outras.

---

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |   |
|---------|---|
| ASTM    | American Society for Testing and Materials                            |
| DNER    | Departamento Nacional de Estradas de Rodagem                          |
| DNIT    | Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes               |
| ESAL    | Equivalent single axle load   |
| HS-WIM  | Sistema de pesagem em movimento a alta velocidade                     |
| INMETRO | Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial |
| LS-WIM  | Sistema de pesagem em movimento a baixa velocidade                    |
| MS-WIM  | Sistemas de pesagem em movimento com múltiplos sensores               |
| UFSC    | Universidade Federal de Santa Catarina                                |
| WIM     | <i>Weigh In Motion</i> (Pesagem em movimento)                         |

---

## LISTA DE FIGURAS

---



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Efeito da carga por eixo sobre o pavimento .....               | 13 |
| Figura 2 – Força de impacto vs. peso .....                                | 17 |
| Figura 3 – Modelo da dinâmica veicular .....                              | 17 |
| Figura 4 – Força de impacto como função parcial do peso .....             | 18 |
| Figura 5 – Leiaute esquemático dos postos de pesagem .....                | 31 |
| Figura 6 – Balanças MS e LS-WIM instaladas; vista aérea de um posto ..... | 31 |
| Figura 7 – Amostra de dados históricos .....                              | 32 |





## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| Capítulo 1 – Introdução .....  | 11 |
| 1 Introdução .....   | 12 |
| Capítulo 2 – Sistemas de Pesagem em Movimento.....   | 15 |
| 2 Sistemas de Pesagem em Movimento .....   | 16 |
| 2.1 Definição de Pesagem em Movimento (WIM) .....  | 16 |
| 2.2 Aplicações e Usos dos Sistemas WIM .....   | 18 |
| 2.3 Acurácia dos Sistemas WIM.....   | 19 |
| 2.4 Fatores de Erro em Sistemas WIM.....   | 20 |
| 2.4.1 Erros devidos a fatores internos (erro intrínseco) .....   | 20 |
| 2.4.2 Erros devidos a fatores externos (erros extrínsecos).....  | 21 |
| 2.5 Considerações sobre Custos de Sistemas de Pesagem em Movimento.....  | 21 |
| 2.6 Tecnologias Utilizadas em Sistemas de Pesagem em Movimento.....  | 22 |
| 2.6.1 Sistema WIM bending plate .....  | 22 |
| 2.6.2 Sistemas WIM piezométrico .....  | 22 |
| 2.6.3 Sistema bridge WIM “ponte” .....   | 23 |
| 2.6.4 Sistema WIM com fibra ótica.....   | 24 |
| 2.6.5 Sistemas WIM com célula de carga .....   | 24 |
| 2.6.6 Sistema WIM com tapete capacitivo .....  | 24 |
| 2.7 Sistema de Pesagem em Movimento com Múltiplos Sensores – MS-WIM ..   | 25 |
| Capítulo 3 – Sistemas WIM Existentes no Mundo.....   | 27 |
| 3 Sistemas WIM Existentes no Mundo.....  | 28 |
| 3.1 Histórico da Pesagem em Movimento no Brasil .....  | 29 |
| 3.1.1 Sistema de pesagem em movimento em uso nas rodovias federais .   | 32 |
| 3.2 Sistemas WIM no Continente Europeu e Seus Usos.....  | 34 |
| 3.3 Sistemas Comerciais de Pesagem em Movimento.....   | 38 |
| 3.3.1 TCC 540 WIM Contador e classificador de pesagem em<br>movimento portátil.....                                      | 39 |
| 3.3.2 HI-TRAC 100 – Sistema de pré-seleção de pesagem em<br>movimento de veículos sobrecarregados a alta velocidade..... | 40 |
| 3.3.3 HI-TRAC ©EMU – Unidade monitora de evento e sistema de<br>classificação de veículo .....                           | 41 |
| 3.3.4 Sistema de pesagem em movimento TDS 821/WIM.....   | 42 |
| 3.3.5 Hestia P .....   | 42 |
| 3.3.6 AT-HI-TRAC®100 – Pesagem em movimento tráfego de alta<br>velocidade e sistema de classificação. ....               | 43 |
| 3.3.7 CROSS ASD 5 WIM Automatic traffic counter .....  | 44 |
| Referências Bibliográficas .....   | 47 |

---

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

---



## 1 INTRODUÇÃO

Apesar do fortalecimento dos modais ferroviário e aquaviário no transporte no Brasil, o modal rodoviário é responsável por uma parcela significativa do transporte de cargas. A malha rodoviária nacional, composta por rodovias federais, estaduais e municipais é bastante extensa e requer ações de manutenção e controle efetivos para prover condições de trafegabilidade, haja vista que as operações rodoviárias de transporte de cargas tem se intensificado em função da dinâmica econômica e da logística de produção, com aumento da carga média transportada por veículo.

Sistemas eficazes de acompanhamento e controle das operações rodoviárias de transporte de cargas são demandados para garantir a segurança das operações, o controle do ambiente competitivo e a manutenção da infra-estrutura.

No Brasil, pesquisas (CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA - CEL, 2006) indicam que aproximadamente 36% dos acidentes em rodovias federais envolvem veículos de carga, o que equivale a um total de cerca de 40 mil acidentes nestas rodovias.

O acidente mais freqüente envolvendo estes veículos de carga é o tombamento, sendo responsável por quase metade dos eventos registrados. O tombamento, além de representar 47% dos acidentes com veículos de carga, também é o tipo de acidente com maior necessidade de atenção, uma vez que possui uma alta freqüência e impacto muito representativo.

A probabilidade de ocorrer o tombamento aumenta com a velocidade do veículo, com a severidade das curvas e, em especial, com o peso e arrumação da carga. Daí a recomendação contida no documento citado, sobre a importância, entre outras medidas, do controle do sobrepeso dos veículos de carga.

Se os veículos de carga por si só são mais perigosos, os veículos de carga com sobrepeso:

- ⊙ são muito mais difíceis de controlar,
- ⊙ precisam de muito mais espaço de frenagem, e
- ⊙ sobrecarregam ao limite componentes mecânicos críticos para a segurança, sobretudo pneus, freios e suspensões.

Ainda, como nas estradas brasileiras são comuns (i) trechos com alto grau de inclinação vertical e/ou de curvatura horizontal, bem como (ii) veículos de carga com

alta relação peso/potência, aos fatores mencionados se soma a perigosa perturbação ao fluxo de tráfego, provocada nestes trechos pelo desempenho marcadamente inferior dos veículos de carga.

Já do ponto de vista do aperfeiçoamento do ambiente econômico, a prática do sobrepeso compromete seriamente o avanço da produtividade do setor transportes, ao distorcer a competição entre transportadores, com externalização de custos extremamente altos à sócio-economia como um todo.

Por outro lado o efeito mais visível do excesso de carga, no entanto, aparece no encurtamento considerável da vida útil dos pavimentos e das obras de arte rodoviárias. Na Alemanha, por exemplo, considera-se que, do ponto de vista do efeito sobre o pavimento e obras de arte, um caminhão equivale a 40.000 veículos de passeio, e que um eixo com 10 toneladas causa 2,44 vezes mais danos ao pavimento do que um eixo com 8 toneladas (F. WEISS, 2007)

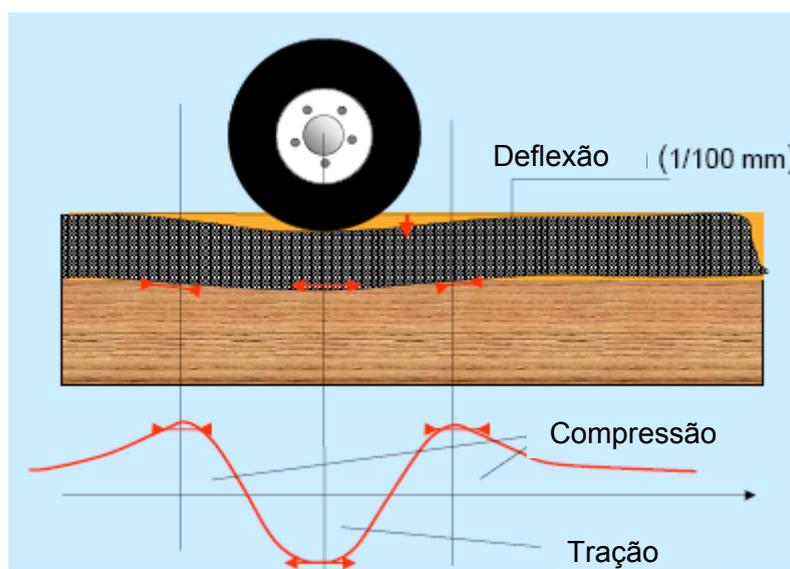


Figura 1 – Efeito da carga por eixo sobre o pavimento

Fonte: THIONN, 2007

Considerando a premissa de que o fluxo de veículos deva ser minimamente perturbado, aumento da eficiência e eficácia do controle do excesso de carga vai depender diretamente do grau de automatização empregado nos sistemas de controle e fiscalização. Neste contexto, identifica-se o crescente desenvolvimento de pesquisa e de sistemas de pesagem em movimento, principalmente nos países europeus e nos Estados Unidos.



Ações desenvolvidas pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes - DNIT em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina busca inserir o Brasil no desenvolvimento de soluções de pesagem ajustadas à realidade nacional, tomando base o desenvolvimento tecnológico mundial nesta área. Neste contexto, torna-se necessário identificar e mapear tecnologias e procedimentos inovadores na área de pesagem consolidadas ou em desenvolvimento no mundo, com aplicação potencial na modernização da fiscalização da operação dos veículos comerciais de carga no Brasil.

---

## **CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO**

---



## 2 SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO

Sistemas “*weigh-in-motion*” (WIM) são capazes de estimar o peso total de um veículo e que parte desse peso é suportada (e, conseqüentemente, transmitida ao pavimento) por cada eixo ou grupo de eixos do veículo.

Sistemas WIM aumentam a capacidade operacional dos postos de pesagem e são freqüentemente utilizados quando o tráfego intenso de caminhões não pode ser acomodado de outra maneira a não ser pelo artifício da pesagem em movimento. Sistemas WIM proporcionam aos projetistas de rodovias os dados de hora/volume de tráfego, velocidade, classificação do veículo baseada no número e no espaçamento de eixos, e o equivalente “single axle loading” (ESAL). Os fabricantes freqüentemente fornecem os aplicativos para ajudar na calibração do sistema e na análise dos dados.

Os sistemas de pesagem em movimento (*WIM*) têm sido objeto nas últimas décadas de cada vez maior utilização e mais pesquisa, especialmente na Europa e nos Estados Unidos.

A pesquisa relativa aos sistemas WIM tem tido foco em:

- ⊙ melhores métodos de calibração,
- ⊙ novos procedimentos, para aumento da velocidade de pesagem, e
- ⊙ novas tecnologias, em especial sensores.

### 2.1 Definição de Pesagem em Movimento (WIM)

Um sistema de pesagem em movimento usa sensores montados sobre, dentro ou sob (caso de pontes) o pavimento, para medir a ‘força de impacto’ aplicada pelo pneu ao pavimento, e, a partir desta medida, estimar o ‘peso’ suportado pelo pneu, como pode ser visualizado na Figura 2.

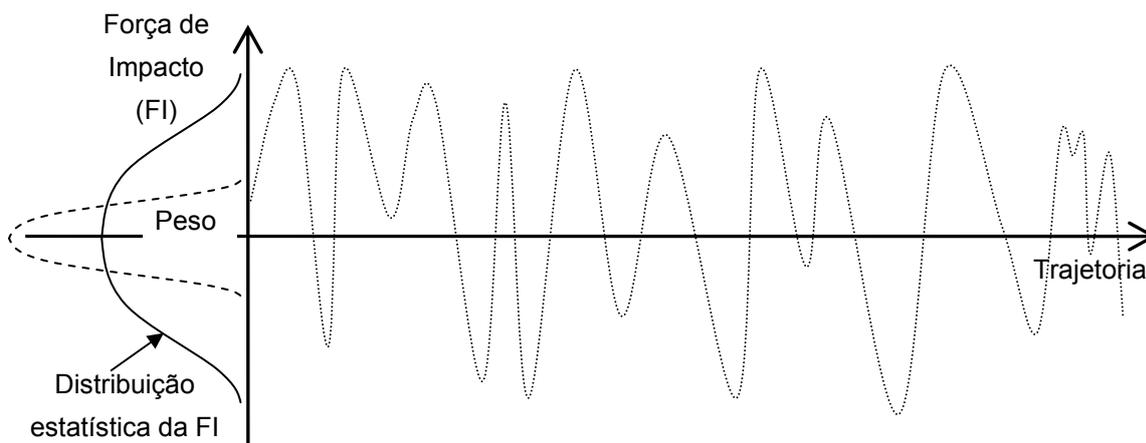


Figura 2 – Força de impacto vs. peso

Fonte: (baseado em JACOB, 2007)

Partindo da premissa de que o valor da força de impacto varia em torno do valor do peso (ao longo da trajetória da roda sobre o pavimento), o desafio é estimar o peso, com determinada acurácia e confiabilidade, a partir da distribuição espacial da força de impacto (JACOB, 2007). Esta distribuição é influenciada pela dinâmica do veículo, que, por sua vez, depende em essência do perfil do pavimento e das características da suspensão do veículo.

A Figura 3 ilustra, usando um modelo simplificado da interação veículo/pavimento, como a dinâmica do veículo afeta a força de impacto. Esta força resulta, em cada instante, da combinação de  $r(t)$ ,  $w(t)$  e  $W(t)$ . A componente  $v(t)$  aparece quando a velocidade  $V(t)$  do veículo varia, constituindo-se em importante fator adicional de degradação do pavimento, e da medição dinâmica de peso.

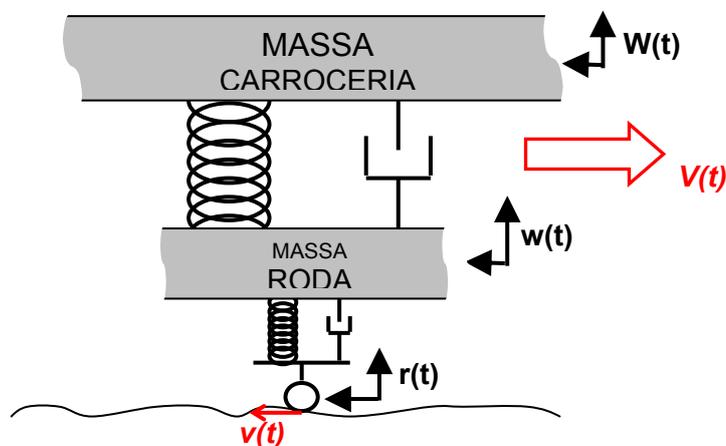
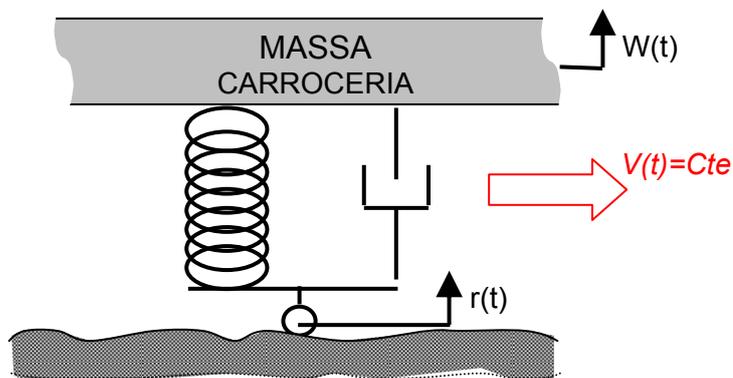


Figura 3 – Modelo da dinâmica veicular

Utilizando-se um modelo ainda mais simplificado da interação veículo/pavimento, graficamente mostrado na Figura 4, e supondo, ainda, velocidade constante, é possível ilustrar a diferença formal entre a força de impacto medida pelos sistemas WIM, e o peso que se deseja estimar.



Sendo:  $y(t) = W(t) - r(t)$ ,

WIM = Força de Impacto, e

Peso =  $M \cdot g$

Tem-se que:  $\boxed{\text{WIM}_{x=vt} \approx \text{Peso} - M \left( \frac{d^2r}{dt^2} + \frac{d^2y}{dt^2} \right)}$

Figura 4 – Força de impacto como função parcial do peso

Portanto, a medida de peso feita quando o sistema não está em repouso é extremamente dependente do perfil do pavimento e da dinâmica do veículo, influenciando os fatores  $\frac{d^2r}{dt^2}$  e  $\frac{d^2y}{dt^2}$  da fórmula acima. Isto é verdade mesmo em condições extremamente idealizadas, onde não são consideradas variações da velocidade  $V$ , nem outras forças (p.ex. o momento a que está submetida cada roda, em função de estar ligada às outras, via eixo e chassi).

## 2.2 Aplicações e Usos dos Sistemas WIM

As classes com as categorias dos sistemas de pesagem em movimento seguem conforme a normatização ASTM E1318-02. São quatro tipos de classificação possíveis:

Tipo I – classifica os sistemas instalados em rodovias de um ou mais pistas com finalidade para a contagem e classificação de veículos. Armazena as seguintes



informações: carga por roda, carga por eixo, carga por grupo de eixo, peso bruto total, velocidade, espaçamento entre eixos, classe do veículo, identificação do posto, pista sentido e direção, data e hora, No. seqüencial de registro, distância entre eixos (+distantes), ESAL, código da infração.

Tipo II – classifica os sistemas instalados em rodovias de um ou mais pistas com finalidade para a contagem e classificação de veículos. Armazena as mesmas informações do tipo I, exceto pelo item carga por roda.

Tipo III – classifica os sistemas instalados em rodovias com um ou mais pistas onde deseja-se realizar procedimentos de pré-seleção de veículos, com identificação da aceleração. As informações como classe do veículo, distância entre eixos (+distantes) e ESAL não são necessárias.

Tipo IV – classifica os sistemas instalados em rodovias com um ou mais pistas onde deseja-se realizar a fiscalização das cargas dos veículos que trafegam em velocidades de 3 a 16 km/h. Contém as mesmas informações do tipo III porém com carga por eixo.

## 2.3 Acurácia dos Sistemas WIM

A acurácia dos sistemas WIM é função de quatro principais fatores:

- ⊙ dinâmica do veículo;
- ⊙ integridade, composição e projeto do pavimento;
- ⊙ variância inerente no sistema WIM; e
- ⊙ calibração.

A dinâmica do veículo é dependente da rugosidade da superfície da rodovia, tipo de suspensão do veículo, balanceamento dinâmico do veículo, peso do veículo, velocidade do veículo, manobras do motorista, etc.

Embora a instalação dos sistemas WIM tenha sido feita em pavimentos de boa qualidade, algumas vezes ocorrem deteriorização inesperada ou anomalias estruturais. Por exemplo, medidas WIM pioram quando pavimentos de asfalto amolecem devido ao calor ou quando existem longas seções sólidas ao longo de um eixo central da rodovia e um veículo pesado passa sobre a extremidade da rodovia. A variância inerente do sistema WIM é função da tecnologia usada no sistema para medir o peso do eixo.

A calibração garante que o peso estático estimado pelo sistema WIM se aproxime do peso estático real. A calibração é responsável por levar em conta os efeitos e características específicas daquela instalação tais como temperatura do pavimento, velocidades dos veículos e condições do pavimento. Os procedimentos de calibração podem incluir uma fase do teste de aceitação e uma fase de recalibração.

## **2.4 Fatores de Erro em Sistemas WIM**

O erro de qualquer equipamento de pesagem de veículos é a diferença entre o peso indicado e o “peso estático real”, o qual é definido como o peso sob condições controladas e perfeitas, significando com isto, entre outras coisas, que o local da balança está absolutamente nivelado, que a suspensão do veículo está numa posição de repouso e não apresenta atrito de qualquer natureza, o veículo não está acelerando nem desacelerando, etc. Qualquer tipo de sensor de pesagem ou balança somente pode medir o que ele “sente”. A diferença entre a indicação do sensor e a carga aplicada (ou a carga que o sensor “sente”) é caracterizada pelo chamado erro intrínseco do instrumento.

Já a diferença entre a carga aplicada e o “peso estático real” em outras condições, que não as controladas como anteriormente dito, pode ser chamada de erro devido aos “fatores externos”.

### **2.4.1 Erros devidos a fatores internos (erro intrínseco)**

O erro intrínseco pode ser determinado usando-se uma máquina de teste ou um peso (ou carga) padrão. Dependendo da tecnologia, ele pode ser mais ou menos influenciado por fatores tais como a temperatura, carga com característica excêntrica (desequilibrada), inclinação, curvatura, forças laterais, repetibilidade, aquecimento, umidade, susceptibilidade eletromagnética, etc.

Equipamentos utilizados para aplicação de lei devem, usualmente, ter seu modelo aprovado (aprovação de tipo - “type approval”) por organizações competentes e oficialmente incumbidas desta missão (no Brasil, INMETRO e seus agentes credenciados). Devem também ser individualmente testados antes de entrar em operação (aprovação pré-operação ou inicial).



### **2.4.2 Erros devidos a fatores externos (erros extrínsecos)**

Existem inúmeros fatores externos que podem provocar erros de leitura nos equipamentos de pesagem, dentre eles podemos citar:

- ⊙ devido à inclinação do veículo;
- ⊙ devido à suspensão do veículo;
- ⊙ devido ao atrito (friccional) na suspensão
- ⊙ devido à reação à frenagem;
- ⊙ devido ao movimento oscilatório dos veículos (chassis e eixos)
- ⊙ devido aos frisos dos pneus
- ⊙ devido às forças aerodinâmicas
- ⊙ devido à instalação dos sensores (nivelamento)
- ⊙ devido à rugosidade e planicidade do pavimento

## **2.5 Considerações sobre Custos de Sistemas de Pesagem em Movimento**

Os custos dos sistemas WIM podem ser expressos em termos do custo do ciclo de vida útil que consiste de uma parcela devido aos custos de capital iniciais (equipamento WIM propriamente dito, mão-de-obra e materiais de instalação, calibração inicial, e custos com o remanejamento de tráfego, incluindo necessidade de construir novas pistas) e mais uma parcela devido os custos com manutenção aplicáveis.

Os custos iniciais relativos para as tecnologias com sensores piezelétricos, “bending plates”, e com células de carga (são assumidas as mesmas condições no que diz respeito ao tipo de rodovia, tráfego, e condições climáticas) podem variar de fabricante para fabricante e com o modelo do sensor, eletrônica acessória, com os consoles ao longo da rodovia, sistemas para o processamento de sinais e outros.

Os custos de manutenção durante o ciclo de vida útil variam devido a diferenças nos volumes de tráfego, nos pesos dos veículos, condições climáticas, procedimentos originais de instalação, condições do leito da rodovia, tipo de controle de qualidade utilizado, dentre outros.



## 2.6 Tecnologias Utilizadas em Sistemas de Pesagem em Movimento

Os sistemas de pesagem em movimento podem ser utilizados para pesagem em movimento a baixa velocidade ou a velocidade diretriz da via e para tanto utilizam diversas tecnologias compatíveis com suas funções.

As tecnologias de sensores mais utilizadas por sistemas WIM são “bending plate”, piezelétrico, célula de carga, tapete capacitivo e ótica. A seguir são apresentadas cada uma dessas tecnologias com o enfoque de uso do sistema na medição de carga dinâmica e estimativas de carga estática.

### 2.6.1 Sistema WIM bending plate

Sistemas WIM “bending plate” podem ser usados para coletar dados de tráfego e para controle de excesso de carga. Os mesmos utilizam placas com sensores de pressão presos no lado inferior. O sistema grava o esforço medido pelos sensores de pressão e calcula a carga dinâmica na medida que o veículo passa sobre o “bending plate”. A carga estática é estimada usando a carga dinâmica medida e os parâmetros de calibração, sendo que os parâmetros de calibração consideram fatores, tais como, velocidade do veículo, tipo de pavimento, dinâmica da suspensão dos veículos, parâmetros esses que influenciam as estimativas de peso estático.

A acurácia dos sistemas WIM “bending plate” pode ser expressa em função da velocidade de passagem do veículo por sobre as placas, assumindo que o sistema é instalado numa estrutura isolada do resto da rodovia e sujeito as condições normais de tráfego. A acurácia desses sistemas é maior do que a dos sistemas piezelétricos convencionais e seus custos são menores do que os dos sistemas com células de carga, entretanto os sistemas WIM “bending plate” não são tão precisos quanto os sistemas “load cell” e são consideravelmente mais caros do que os sistemas piezelétricos.

### 2.6.2 Sistemas WIM piezelétrico

Os Sistemas WIM piezelétricos são compostos por um ou mais sensores piezelétricos, laços indutivos e sistemas de aquisição e tratamento de sinais. Os sistemas piezelétricos detectam uma variação na tensão causada pela pressão exercida no sensor pelo eixo e por meio disso mede o força de impacto que pode ser



transformada em peso do eixo. Quando um veículo passa sobre o sensor piezométrico, o sistema registra a saída de tensão do sensor e calcula a carga dinâmica.

Os materiais utilizados nos sistemas WIM piezométricos são de quartzo, cerâmica e polímero e podem ser usados em intervalos maiores de velocidade que variam de 20 a 120 km/hora, dependendo do fabricante e da tecnologia empregada. Os sistemas WIM piezométricos podem ser utilizados para monitorar várias pistas simultaneamente, sendo sua vida útil de 3 a 5 anos.

### **2.6.3 Sistema bridge WIM “ponte”**

A tecnologia de sistema Bridge WIM “ponte” faz uso das obras de arte existentes em rodovias (ex: pontes, viadutos, etc.). Os sistemas Bridge WIM usam transdutores de pressão para transformar as deflexões dessas estruturas quando sujeitas a cargas móveis.

Geralmente, a acurácia na estimativa de peso estático de um sistema WIM “ponte” depende do procedimento de instalação (incluindo o tipo de ponte, a qualidade do ajuste e calibração dos parâmetros relacionados à transformação dos dados dos transdutores em peso), da rugosidade do pavimento (particularmente no que diz respeito às junções entre a rodovia e a obra de arte em questão) e, finalmente, da acurácia do procedimento de pesagem estática que serve como referência para estimativa do peso estático real.

Os componentes de hardware do sistema Bridge WIM não possuem avanços significativos na tecnologia de sensores e, por isso, podem ser considerados consolidados. Além disso, potenciais benefícios do sistema Bridge WIM incluem uma mudança de paradigma para calibração, uma vez que o próprio sistema traça as bases de sua calibração ao invés de, como em sistemas tradicionais, se basear em informações derivadas de algoritmos de computador para gerar curvas de calibração. Uma outra vantagem é que para a instalação do sistema não é praticamente preciso interromper ou alterar o fluxo original de veículos da rodovia.

Uma desvantagem do sistema é o uso de transdutores não calibrados, que limita o valor dos dados WIM para emprego e avaliações da estrutura por engenheiros. Uma desvantagem adicional é, obviamente, a necessidade da existência de uma ponte, com características desejáveis, no local onde o controle de peso deva ser feito.

#### **2.6.4 Sistema WIM com fibra ótica**

Existem muitos tipos de sistemas que baseiam seus princípios funcionais em ótica. Os mais comuns são: sistema WIM baseado no interferômetro de Michelson, sistema WIM baseado em polarimetria com uso de fibra ótica e sistemas WIM baseados em sensores do tipo “microbend” óticos.

Os sistemas WIM baseados em fibra ótica apresentam ótima resistência à interferência eletromagnética causada pela estrutura de ferro de concreto Portland. Sua aplicação é especialmente considerada promissora em situações que requeiram um número maior de sensores, entretanto como ainda não é uma tecnologia consolidada, serão necessárias extensivas aplicações em campo visando demonstrar sua durabilidade, confiabilidade e seu desempenho operacional. Porém, um fato promissor apontado em experimentos com protótipos é a capacidade de alcançar elevadíssimos graus de acurácia.

#### **2.6.5 Sistemas WIM com célula de carga**

Um típico sistema WIM com célula de carga é composto de uma única célula de carga, no mínimo um laço indutivo e um sensor de eixo. A célula de carga possui duas balanças em linha que operam independentemente. Sensores colocados fora das balanças são integrados de forma a garantir que não seja pesado nada que está fora das superfícies destinadas à pesagem. Uma célula de carga possui barras de torções dentro da estrutura do sistema WIM de forma a transmitir todas as forças para a célula de carga. Esta célula de carga possui uma pequena porção de fluido que aciona um transdutor de pressão que por sua vez passa os dados para o equipamento de análise de dados, usualmente colocado na lateral da rodovia. Os sistemas WIM com célula de carga são duráveis e estão entre os mais acurados sistemas WIM, podendo ser utilizado tanto para coleta de dados de tráfego como para controle de excesso peso, entretanto é o que necessita de maior investimento inicial e maior custo de manutenção. Além disso, o tempo de vida útil de um sistema WIM com célula de carga é de no máximo 5 anos.

#### **2.6.6 Sistema WIM com tapete capacitivo**

O tapete capacitivo consiste de um sanduíche de lâminas de aço e de material dielétrico. Numa configuração uma lâmina de aço inoxidável é envolta pelo material dielétrico poliuretano em cada lado. As superfícies mais externas das camadas de



poliuretano são fechadas por outras lâminas de aço inoxidável. Uma tensão alternada é aplicada através do sanduíche de materiais. Quando um veículo passa sobre o tapete capacitivo, o espaçamento entre as placas diminui fazendo com que aumente a capacitância. Isto altera a frequência de ressonância do circuito elétrico do qual faz parte o tapete capacitivo. A frequência de ressonância, medida pelo equipamento de gravação e de análise de dados é então demonstrada ser proporcional ao peso do eixo.

Sensores de tapete capacitivo podem ser usados em aplicações WIM portáteis bem como permanentes, mas não são tão acurados para estimar peso quanto outros sistemas WIM e estão entre os sistemas WIM mais caros disponíveis.

## **2.7 Sistema de Pesagem em Movimento com Múltiplos Sensores – MS-WIM**

O Equipamento ou tecnologia com múltiplos sensores, usualmente referidas como MS WIM (“Multi-Sensors” WIM), se caracteriza pelo uso de diversos sensores e técnicas adequadas de processamento e de correlação para aferir ou executar um processo de “pesagem” em movimento. Sistemas de Múltiplos Sensores WIM independem da tecnologia utilizada pelos sensores, podendo inclusive utilizar sensores de tecnologias diferentes dentro de uma mesma configuração.

O emprego de múltiplos sensores WIM visa obter melhoria da acurácia, diminuir a dependência ao tipo de pavimento (isto é, impor menos restrições à “qualidade” do pavimento em que será utilizado o equipamento), diminuir a dependência ao tipo de veículo a ser “pesado”, aí incluídos os tipos de eixo e os tipos de suspensão, etc., diminuir a dependência ao “como” o veículo está sendo dirigido (fator humano), i.e., aos efeitos da frenagem, aceleração, velocidades, etc..

De forma genérica, a utilização de diversos sensores são utilizados para se processar de forma correlata as informações, para isso fazendo-se uso da teoria estatística da repetibilidade espacial, em que, de forma sucinta, sensores são empregados para medir as pressões ou forças de impacto de pneus em tempos (e espaços) distintos. Isto é feito por meio de algoritmos adequados, algoritmos esses que conseguem extrair das informações disponíveis por cada um dos sensores, aquelas informações que são unicamente devidas à força de impacto do pneu do veículo em movimento.

Esta força de impacto é, então, transformada por meio de calibração em seu equivalente de “peso estático”, dando margem então, ao uso dos sistemas para avaliação do “peso bruto” ou do “peso por eixo” ou do “peso por conjunto de eixos”.

Desta forma, quatro vantagens da utilização de múltiplos sensores (ou de um Sistema MS-WIM) podem ser ressaltadas:

- ⊙ Redução da dependência dos tipos e características do pavimento;
- ⊙ Redução da dependência dos tipos e características dos sensores;
- ⊙ Ampliação do uso de mesmos sistemas para diversas finalidades,; e
- ⊙ Facilitação nos processos de calibração e aferição.

Por outro lado, os componentes de hardware do sistema MS-WIM não possuem avanços significativos na tecnologia de sensores, os quais, portanto, podem ser considerados consolidados. Além disso, potenciais benefícios do sistema MS WIM incluem uma mudança de paradigma para seu uso, critérios de instalação e condicionantes tanto de pavimento quanto de tipo de veículo, quanto para a própria calibração, uma vez que o próprio sistema traça as bases de sua calibração.

Ao invés de, como em sistemas tradicionais, se basear em informações derivadas de algoritmos de computador para simplesmente “somar ou combinar” os sinais derivados dos sensores, o sistema MS WIM correlaciona os dados dos diversos sensores, espacialmente diversos, para gerar resultados “livres” de efeitos do meio externo. As curvas de calibração são obtidas dependem da base de amostragem utilizada pelo sistema, o que é feito de forma automática e iterativa.

Uma outra vantagem é que não se necessita, *a priori*, de um determinado tipo de sensor, sendo, a princípio, independente do tipo de sensor sendo utilizado. Esta característica faz com que esse tipo de sistema permita à autoridade responsável pelo controle do excesso de peso um leque maior de opções de fornecedores de sensores.

A principal desvantagem do sistema MS WIM é ainda a sua pouca utilização prática e a necessidade de ter-se que se ajustar e consolidar algoritmos eficazes para o processamento e tratamento dos dados bem como se adequar a forma de se realizar a calibração para diferentes condições infra-estrutura e operação de pavimentos.



---

## **CAPÍTULO 3 – SISTEMAS WIM EXISTENTES NO MUNDO**

---



### 3 SISTEMAS WIM EXISTENTES NO MUNDO

As condições operacionais e tecnológicas, aliadas a crescente necessidade de processos de controle e fiscalização estimulam o uso e o desenvolvimento de sistemas de pesagem em movimento a baixa velocidade (LS-WIM) ou a alta velocidade (HS-WIM). O Brasil destaca-se pelo pioneirismo no uso da tecnologia de pesagem em movimento, acumulando hoje quase trinta anos de experiência. Já, países do continente europeu e os Estados Unidos, destacam-se pelo desenvolvimento de tecnologias de pesagem em movimento.

Ao contrário dos EUA, os países Europeus possuem poucas instalações fixas de controle de peso, e muitas atividades de fiscalização móvel, que são realizadas em áreas de descanso e/ou abastecimento existentes, à margem das estradas.

Esta estratégia europeia tem a desvantagem de resultar em um menor volume de caminhões inspecionados, além de significar mais restrições geográficas e geométricas quanto à escolha de áreas adequadas, ao longo das estradas, para realizar a fiscalização (incluindo o transbordo).

Porém, esta estratégia tem a grande vantagem de dar mais flexibilidade de resposta do sistema de fiscalização às mudanças, cada vez mais rápidas, do padrão de carregamento e roteamento da indústria moderna, que tem que atender a mercados com crescente volatilidade, como é característica da era da e-Logística (PAIVA, 2001).

Como nos EUA, muitas entidades fiscalizadoras Europeias possuem funcionários especializados em seus quadros. Na maioria dos casos, porém, estes não são autorizados a realizar tarefas além da fiscalização de peso e tamanho (p.ex. parar veículos, portar armas, realizar detenções). Se um problema de segurança, credenciamento ou crime surge, o pessoal autorizado a lidar com estes problemas é chamado ao local para dar assistência.

Na maioria dos países europeus, e em menor escala na América do Norte, se observa um alto nível de cooperação entre agências governamentais intervenientes na fiscalização de dimensões e peso, seja de níveis jurisdicionais diferentes (p.ex. agências de fiscalização federais e estaduais) ou de setores diferentes do governo (p.ex. agências dos Ministérios do Transporte e da Justiça).



Observou-se, também, que o setor privado trabalha em mais estreita colaboração com o governo (e com institutos de pesquisa públicos ou privados) nos Países Europeus (em contaste com os EUA), na busca do refinamento e melhoria da performance e da acurácia dos sistemas de fiscalização empregados.

Os procedimentos de emissão de multa, e também seu valor, diferem entre (e mesmo *intra*) países Europeus, variando quanto: (i) à definição do infrator (p.ex. motorista, transportador ou ambos), (ii) à igualdade ou não de tratamento dos transportadores e motoristas nacionais e estrangeiros, e (iii) ao tempo previsto para a emissão e o pagamento da multa. As mesmas diferenças são observadas entre Estados, no caso dos EUA.

### 3.1 Histórico da Pesagem em Movimento no Brasil

O Brasil foi pioneiro no uso generalizado de sistemas de controle de sobrepeso baseados na pesagem em movimento (WIM), em resposta a um forte aumento do tráfego de veículos rodoviários de carga, ocorrido em 1975, após meia década de contínuo crescimento econômico, a níveis sem precedentes, um período que ficou internacionalmente conhecido como o do “milagre brasileiro”.

Para neutralizar esta ameaça à infra-estrutura rodoviária, o então Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) tomou a decisão de desenvolver um Plano Nacional de Pesagem (GOLTSMAN, 1978), como parte de uma estratégia governamental maior, objetivando assegurar as condições para a continuidade do crescimento industrial e econômico do País.

A lógica de tal iniciativa governamental considerou dois dos aspectos principais da administração de sistemas de transporte:

- 1) Operação: preservação dos pavimentos e pontes, aumento da segurança do tráfego, conservação da energia usada em transportes, redução da poluição ambiental, e promoção da competição leal entre operadores;
- 2) Planejamento: estabelecimento de uma base nacional de dados de tráfego, a ser usada no planejamento socioeconômico nacional e regional, e em seu rebatimento sobre o planejamento e projeto do sistema de transporte.



A decisão tomada, desde o início do desenvolvimento do Plano Nacional de Pesagem de 1975, foi a de que os objetivos do sistema de controle de sobrepeso deveriam ser atingidos com mínima perturbação do fluxo de tráfego conforme.

Assim, as soluções adotadas não deveriam significativamente aumentar os tempos de viagem e custos operacionais do transporte comercial. A opção pela pesagem dinâmica resultou então naturalmente destas premissas.

O Plano foi levado a cabo em três fases consecutivas:

Fase I – avaliação tecnológica de todos os sistemas de pesagem disponíveis internacionalmente, incluindo aspectos operacionais, acurácia e confiabilidade, capacidade e tempo gasto entre a pesagem e a eventual emissão da multa. Foi durante esta avaliação que ficou claro que os sistemas de pesagem em movimento (WIM) teriam que ser a espinha dorsal de qualquer solução a ser adotada, embora tais sistemas ainda estivessem nos primeiros estágios de produção e adoção;

Fase II – Já com os sistemas WIM em mente, estudos especiais foram levados a cabo, de modo a conseguir a máxima quantidade de informações sobre: (i) limites de peso por eixo adotados internacionalmente, (ii) efeitos do excesso de carga sobre a vida útil dos pavimentos, (iii) dados existentes sobre inventário e operação de sistemas WIM na Europa e Estados Unidos, inclusive capacidades, necessidades de pessoal, e custos fixos de postos de pesagem. Em busca de subsídios para a localização de postos fixos de pesagem, um estudo de tráfego (volume e O/D) foi realizado no País inteiro, considerando ainda futuras zonas de geração de tráfego. Estes estudos sugeriram a instalação de 132 (cento e trinta e dois) postos de pesagem dinâmica fixos, bem como o uso de 100 (cem) balanças portáteis, a serem usadas por patrulhas móveis, no controle da evasão. Mais tarde, por restrições orçamentárias, o número de instalações fixas foi reduzido para 73 (setenta e três). O projeto operacional e o de engenharia foram desenvolvidos, tendo em mente que o fluxo de veículos conformes deveria ser minimamente perturbado.

Fase III – Em 1977 foram realizadas licitações internacionais para construção dos postos fixos, e para a aquisição de balanças dinâmicas de média (60 km/h) e baixa (10 km/h) velocidades. Sessenta e nove postos foram construídos. A empresa Siemens AG, da Alemanha (tendo como sub-contratada a empresa PAT GmbH), ganhou a concorrência internacional para fornecer as balanças dinâmicas de média velocidade, do tipo '*strain gauge bending plates*', com acurácia nominal de 5% do

peso bruto do veículo. A empresa Smith Industries, do Reino Unido, foi selecionada para fornecer as balanças dinâmicas de baixa velocidade, do tipo 'load cell scales'. Para serem aceitas para aplicação de multas, estas últimas tiveram que ser testadas e certificadas pelo INMETRO, para uma acurácia de 0,5% a 10 km/h. A operação ininterrupta dos postos de pesagem, sete dias na semana, vinte e quatro horas por dia, foi terceirizada pelo DNER.

Um desenho esquemático do posto de pesagem típico é apresentado na Figura 5 na Figura 6 são apresentadas duas fotos com detalhes das balanças e uma vista aérea do posto de pesagem.

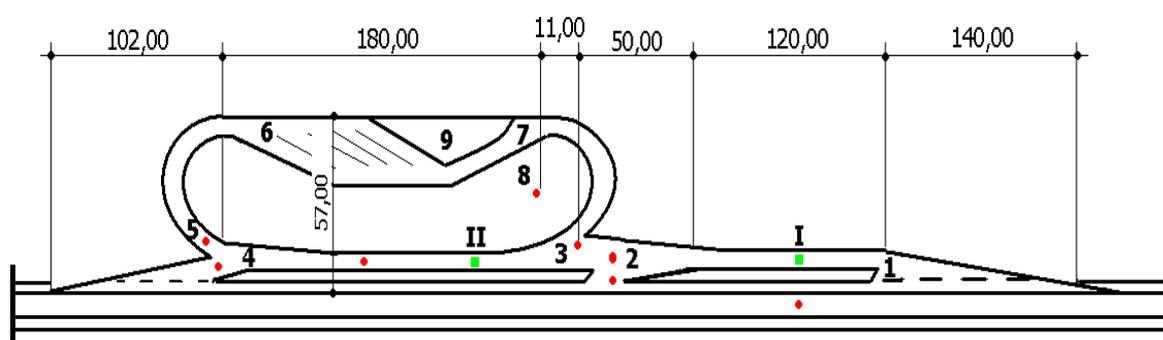


Figura 5 – Leiaute esquemático dos postos de pesagem

**Legenda:** 1- Desaceleração de 80 a 60 km/h; 2- Aceleração; 3- Desaceleração de 60 a 10 km/h; 4- Aceleração; 5- Acesso ao estacionamento; 6- Estacionamento para veículos não-conformes; 7- Saída do estacionamento; 8- Centro de controle; 9- Casa do gerador de energia e garagem do reboque; I – Balança de pré-seleção (WIM a 60 km/h); e II – Balança de baixa velocidade (LS-WIM a 10 km/h). O pavimento das pistas de pesagem (cerca de 100m) é rígido.



Figura 6 – Balanças MS e LS-WIM instaladas; vista aérea de um posto

Com o propósito de ilustrar a eficiência e eficácia do sistema de controle de excesso de carga resultante, a Figura 7, apresenta uma amostra da evolução do excesso de

carga por eixo observado ao longo do tempo. Em 1981, no começo das ações de controle, o excesso de carga médio por eixo era de aproximadamente 5 toneladas (medido em LS-WIM a 10 km/h). Após a consolidação do sistema de controle, este valor caiu continuamente, até se estabilizar em aproximadamente 0,7 toneladas, em 1991.

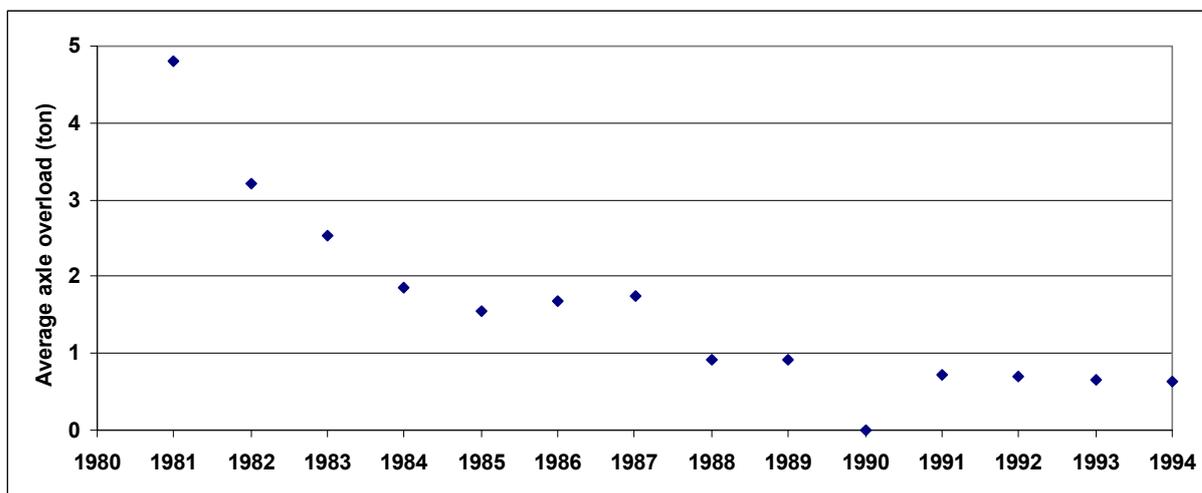


Figura 7 – Amostra de dados históricos

### 3.1.1 Sistema de pesagem em movimento em uso nas rodovias federais

O sistema de pesagem usado nas estradas federais, de responsabilidade do DNIT, compõe-se atualmente de:

- ⊙ 28 (vinte e oito) postos fixos, dos quais 24 (vinte e quatro) operam normalmente, 3 (três) estão em fase de operacionalização, e 1 (um) está inoperante, aguardando reforma do pavimento; e,
- ⊙ 58 (cinquenta e oito) postos móveis, dos quais 34 (trinta e quatro) operam normalmente, 19 (dezenove) operam em caráter educativo, e 5 (cinco) estão inoperantes.

Cada posto fixo é dotado de uma balança WIM de média velocidade (balança seletiva), para pré-seleção dos veículos passíveis de estarem com excesso de peso, e uma balança WIM de baixa velocidade (balança lenta), certificada para fiscalização, onde os excessos indicados pela balança seletiva são confirmados ou não. Os postos móveis são dotados de balanças de precisão, certificadas para pesagem estática.



Os equipamentos de todos os postos de pesagem, fixos ou móveis, são de propriedade do DNIT, sendo que os postos fixos são equipados com balanças WIM fixas, do tipo placa, fabricadas pela empresa PAT GmbH, e os postos móveis com balanças portáteis das marcas PAT, Ômega e Toledo/Capstel.

Esta rede de fiscalização opera integrada ao sistema de emissão de multas do DNIT, o Sistema de Gerenciamento de Pesagem de Veículos - SGPV, através de um protocolo de comunicação. Quando é constatado excesso de peso em um posto, a balança de fiscalização (Balança Lenta) envia os dados correspondentes ao SGPV do DNIT, para que seja gerado o documento Aviso de Ocorrência de Excesso de Peso – AOEP, que é entregue ao usuário.

Diariamente, relatórios agregando os avisos gerados nas últimas 24 horas são encaminhados ao DNIT, via e-mail, para serem processados, dando origem às NAs (Notificações de Autuação) e NPs (Notificações de Penalidade) correspondentes.

As informações primárias geradas pelas balanças lenta e seletiva são encaminhadas ao DNIT, onde são tratadas e inseridas num banco de dados, para a geração de relatórios e estatísticas.

Os postos de pesagem utilizam também um sistema de controle e estatística operacional chamado Registro Diário de Ocorrências - RDO, que agrega informações sobre os veículos pesados, fugas, transbordos, remanejamentos, avisos emitidos, avisos cancelados, e outras ocorrências operacionais dos postos. Este sistema gera relatórios gerenciais da operação dos postos, e também estatísticas.

Como visto, embora parte do sistema federal de controle de pesagem adotado no Brasil em 1978 ainda esteja em operação, a modernização é altamente necessária e mais do que oportuna, tendo em vista o aparecimento de novas tecnologias e procedimentos, que permitem aumentar o nível de automatização da fiscalização, e, com isto, a eficiência e eficácia do sistema.

A experiência da Europa e dos Estados Unidos, acumulada através da operação e experimentação de sistemas WIM ao longo das últimas décadas, sugere fortemente as vantagens da generalização do seu uso, cujo avanço depende agora da pesquisa de meios inovadores para aumentar o controle sobre a acurácia e confiabilidade das medidas de peso produzidas, especialmente em alta velocidade (HS-WIM).



### 3.2 Sistemas WIM no Continente Europeu e Seus Usos

O uso de tecnologias para aplicação no controle efetivo do peso de veículos comerciais varia de país para país ao longo dos países visitados (Romênia, Eslovênia, Holanda, Suíça, Alemanha, Bélgica e França) tanto na implementação como na extensão de sua aplicação.

De um modo geral, no que tange aos tipos de sensores utilizados nos equipamentos de pesagem em movimento, observou-se que os mais utilizados para aplicações rodoviárias são o piezo quartzo, o piezo cerâmico e o piezo polímero. Observou-se a existência de um grande desafio, na busca de se melhorar a precisão e os aspectos referentes à manutenção dos sensores.

De um modo geral, os níveis de precisão observados nos equipamentos de pesagem em movimento são suficientes para a aplicação de pré seleção para posterior pesagem em balanças estáticas ou em equipamentos de pesagem em movimento à baixa velocidade. A França é o único país europeu que já está usando a pesagem a baixa velocidade para efeito de multa.

A França e a Holanda estão realizando pesquisas com o uso de múltiplos sensores, na visando obter precisão suficiente que permita a completa automação no controle de peso e medidas dos veículos comerciais.

Existem pesquisas e experimentos visando estabelecer critérios de calibração dos equipamentos de pesagem em movimento, sendo, via de regra, os seguintes os procedimentos adotados:

- ⊙ Autocalibração;
- ⊙ Calibração com veículos de peso conhecido;
- ⊙ Calibração com veículos instrumentados e
- ⊙ Calibração continua durante operação de controle de peso usando veículos amostrados do fluxo normal de trafego e pesando-os estaticamente e em movimento

A Holanda instrumentou um veículo com características específicas, para calibração dinâmica dos equipamentos de pesagem em movimento, que elimina a tradicional comparação de medidas estáticas com dinâmicas.

No que tange ao controle de peso, pode-se observar um grande uso de equipamentos moveis nas atividades de controle de peso, e muito poucas estações



fixas de pesagem ao longo das rodovias. Esta estratégia resultou num volume mais baixo de veículos multados e trouxe, igualmente, maior flexibilidade aos embarcadores e no estabelecimento de rotas de transporte além de mostrar-se mais eficiente e efetivo nas ações de controle dos veículos.

A tecnologia de pesagem em movimento, em conjunto com tecnologia de vídeo, é amplamente utilizada como suporte para o controle de peso dos veículos. A transmissão de dados do local de pré-seleção às unidades móveis é feita em tempo real.

Com base nas informações obtidas no processo de controle de peso, as organizações de governo envolvidas com transporte de carga advertem as empresas infratoras, por meio de cartas, quanto à prática de excesso de peso. Além disso, há uma ação preventiva que inclui a visita do pessoal de fiscalização e controle dos governos às empresas infratoras, buscando soluções para evitar a ocorrência de novas infrações.

De uma forma geral, os países europeus têm favorecido uma abordagem estatística da fiscalização de peso, com poucas instalações fixas e muitas são móveis. Além disto, múltiplas aplicações dos dados gerados no decorrer da fiscalização concorrem para favorecer ainda mais a relação benefício/custo dos sistemas instalados, como por exemplo, àquelas relacionadas ao planejamento de engenharia de construção, de operação, de manutenção e fiscalização para as rodovias, bem como, informações para o controle e fiscalização da circulação de mercadorias na malha rodoviária.

Outro aspecto geral importante, é que o contínuo aperfeiçoamento em tecnologia e procedimentos destes sistemas de fiscalização é objeto de programas pan-europeus permanentes, e de grande envergadura, com alocação de fundos importantes.

Na Europa, no que tange à fiscalização, a tecnologia WIM é usada predominantemente para dar suporte:

- ⊙ à pré-seleção de veículos, em tempo real, para a fiscalização móvel;
- ⊙ à programação desta atividade; e
- ⊙ à adoção de ações preventivas, através da identificação de características sistemáticas da prática de sobrepeso (empresas, motoristas, tipos de empresas, veículos ou carga, etc.).



Na opinião de fiscais e especialistas da França e Holanda, que lideram a pesquisa europeia nesta área, a completa automatização da fiscalização de tamanho e peso dos veículos comerciais, empregando sistemas WIM de alta velocidade irá se concretizar plenamente nos próximos 20 anos.

O grande desafio posto hoje é alcançar níveis suficientes de acurácia e confiabilidade dos sistemas de pesagem em movimento em alta velocidade. Barreira essa vencida, será necessário obter a certificação metrológica destes sistemas, cuja complexidade exige o desenvolvimento de novos procedimentos de teste. Por último, será preciso adequar a legislação, que, na maioria dos países, ainda exige medições de peso estáticas, ou a baixíssima velocidade.

Recentemente, a França, a Alemanha e o Reino Unido, obtiveram a aprovação da autoridade metrológica nacional para certificar o uso de sistemas LS-WIM para fiscalização, à velocidade máxima de 10 km/h (no momento, a França está pesando à velocidade de 4 km/h). A Bélgica também se utiliza destes sistemas para a fiscalização, embora não se conheça as mudanças legais e metrológicas que autorizaram esta prática.

No entanto, sistemas WIM de alta velocidade são muito mais complexos que os sistemas WIM de baixa velocidade, tanto em tecnologia quanto em certificação. O procedimento de teste exigido para certificação de um sistema de baixa velocidade é similar ao de uma balança estática, o que o torna relativamente simples e familiar para a autoridade metrológica.

A legislação Eslovena ainda não permite o uso de dados de pesagem em movimento, mesmo a baixa velocidade, para o controle direto de veículos sobrecarregados.

Os Suíços preocupam-se com os elevados valores de desvio padrão associados às medidas de peso efetuadas com a tecnologia atual dos sistemas WIM de alta velocidade, o que exigiria a adoção de considerável tolerância na fiscalização. Esta alta tolerância nos limites de peso impediria, na opinião dos Suíços, o uso destes sistemas na fiscalização direta automatizada, uma vez que estes não representariam um risco suficientemente alto para induzir a um comportamento legalmente aceito por parte da indústria do transporte.

Para os alemães, as principais razões pelas quais não investem na busca deste paradigma são:



- ⊙ os custos associados aos sistemas WIM com múltiplos sensores, considerados os mais promissores;
- ⊙ os desafios permanentes com a confiabilidade; e
- ⊙ as barreiras legais existentes.

Além disto, argumentam os alemães, “se um caminhão for considerado fortemente sobrecarregado”, fiscais humanos, localizados em uma área a jusante do ponto de fiscalização automática, ainda se farão necessários, para que seja garantida a realização do transbordo ou de qualquer outra ação contra os veículos infratores. A fiscalização móvel poderá ser usada com esta finalidade, mas, por definição, na maioria das vezes a fiscalização móvel não estará presente em determinado local e hora.

Apesar da magnitude dos problemas associados aos sistemas de pesagem a alta velocidade, a persistência na busca de soluções se justifica plenamente, uma vez que a automatização total da fiscalização aumentaria enormemente:

- ⊙ a percentagem do fluxo de veículos monitorada (chegando até a 100% dos veículos);
- ⊙ a percentagem de veículos sobrecarregados detectados; e
- ⊙ o número de veículos sobrecarregados multados.

Em muitos países europeus, a evasão é uma preocupação real. Devido à sua natureza, as atividades de fiscalização móvel são geralmente consideradas capazes de assumir os desafios relacionados ao controle das evasões.

Na Suíça, à medida que é expandida a rede de postos de pesagem permanentes nas auto-estradas, a fiscalização móvel tende a assumir, cada vez mais, o controle operacional das rotas de fuga paralelas.

Tanto a França quanto a Holanda integraram suas preocupações com evasão nos critérios adotados para localização das instalações de pesagem em movimento.

Nos países europeus, as discussões relativas à aplicação de novas tecnologias ao transporte especial (cargas com peso e/ou tamanho acima do limite legal), concentram-se atualmente nas possibilidades de generalização:

- ⊙ da oferta de *web sites* onde o motorista pode, considerando as restrições de via existentes, planejar sua própria rota, como é feito na Suíça;



- ⊙ do uso de sistemas B-WIM, tanto para a verificação da capacidade de carga efetiva das pontes/vias a serem percorridas por um transporte especial, quanto para a monitoração remota da execução deste transporte, como é feito na Eslovênia.

Ter certeza de que os veículos para transporte especial estão de fato credenciados para tal é, no entanto, considerado o desafio maior. Estima-se que na Holanda cerca de 40 (quarenta por cento) destes veículos operem sem credenciais apropriadas. Para educar este setor da indústria, a fiscalização tem optado mais por uma abordagem preventiva (cartas, visitas técnicas, etc.), do que pela aplicação pura e simples da Lei.

A Eslovênia experimenta desafio similar, relativamente aos veículos de transporte especial. Mais de 70% (setenta por cento) dos veículos deste tipo, fiscalizados no campo, apresentavam pelo menos um tipo de irregularidade. Destas, 47% (quarenta e sete por cento) eram relativas a excesso de carga. A porcentagem restante referia-se a autorização vencida ou outros tipos de infração.

### **3.3 Sistemas Comerciais de Pesagem em Movimento**

Os sistemas comerciais existentes, além de permitir a pesagem em movimento por eixo e total do veículo, possibilita também a classificação de veículos por tipo, contagem volumétrica e velocidade, dentre outras, gerando informações de suporte para o planejamento rodoviário e análise de tendência histórica de estatísticas de tráfego. Via de regra os níveis de acurácia existentes obtidos pelos sistemas WIM são suficientes para pré-seleção de veículos visando a posterior pesagem em balanças estáticas, para efeito de aplicação de multas por excesso de carga.

Um amplo levantamento de sistemas comerciais utilizando tecnologias de sensores piezoelétrico, ótica, strain gage, células de carga, tapete capacitivo, dentre outras, está em elaboração e sua apresentação será objeto de um relatório específico. De forma geral serão apresentados o produto, sua especificação, suas funções, nomes dos fabricantes, fornecedores, e formas de contato. Os custos destes inerentes a aquisição e instalação destes sistemas varia conforme a exigência do cliente. Varia em função do número de pistas controladas, do tipo de sensor, do tipo de sistema de aquisição de dados, da aplicação do sistema nos casos contagem/classificação e pré-seleção, sendo que os mesmos serão apresentados oportunamente.



A seguir são apresentadas informações referentes sistemas comerciais mapeados.

### 3.3.1 TCC 540 WIM Contador e classificador de pesagem em movimento portátil.

**Especificação:** Realiza contagem em até 16 pistas, classifica em até 8 pistas ou pesa em até 8 pistas. Completamente portátil, pode ser usado tanto em locais temporários quanto em locais permanentes. Configurações possível com sensores Laço Indutivo (Loop) e Piezo-elétrico (Piezo):

- ⊙ Piezo Piezo;
- ⊙ Piezo Loop Piezo;
- ⊙ Loop Piezo Loop;
- ⊙ Loop Piezo Piezo;
- ⊙ Loop Piezo Piezo Loop;
- ⊙ Loop Piezo Piezo Piezo.

**Funções:** Coleta as seguintes informações: contagem de veículos, classificação, velocidade, sentido, comprimento, velocidade por eixo, velocidade por comprimento, peso por eixo e peso bruto total.

#### Fornecedor/Contato

International Road Dynamics Inc.

N° 702, 43 Street East

Saskatoon, SK.

CEP: S7K 3T9

Canadá.

Telefone: 306.653.6600

Fax: 306.242.5599

Email: [info@irdinc.com](mailto:info@irdinc.com)

Site: [www.irdinc.com](http://www.irdinc.com)

Link para especificação do produto:

[http://www.irdinc.com/products/pdf/540WIM\\_0605.pdf](http://www.irdinc.com/products/pdf/540WIM_0605.pdf)



### 3.3.2 HI-TRAC 100 – Sistema de pré-seleção de pesagem em movimento de veículos sobrecarregados a alta velocidade.

**Especificação:** O sistema é composto por dois sensores de pesagem em movimento, piezo-elétricos, e um laço indutivo por pista. Classifica mais de 100 tipos de veículos e armazena-os individualmente.

Configuração na pista:

- ⊙ Piezo Loop Piezo;
- ⊙ Loop Loop;
- ⊙ Loop Piezo Loop;
- ⊙ Piezo Piezo (metade do tamanho).

Capacidade de armazenamento: 4 Mb expansível para 6 Mb ou 8 Mb.

**Funções:** Coletados dados por veículo com a seguinte informação: hora e data, código de identificação do local, número da pista, peso individual por eixo, velocidade do veículo, espaçamento entre eixos, eixo simples equivalente, direção do trânsito, contador de veículos, classe do veículo, peso bruto total, comprimento do veículo, espaçamento entre veículos, entre outros.

#### **Fornecedor/Contato**

TDC SYSTEMS LIMITED

N° 58 Buckingham Road, Weston Industrial Estate,

Weston-super-Mare, North Somerset

CEP: BS24 9BG

Inglaterra.

Telefone: 01934 644299

Fax: 01934 644255

Email: [sales@tdcsystems.co.uk](mailto:sales@tdcsystems.co.uk)

Site: <http://www.tdcsystems.co.uk/>

Link para especificação do produto: [http://www.tdcsystems.co.uk/filestore/HI-TRAC%20100%20Brochure%20\(Rcv.2%2001-06\).pdf](http://www.tdcsystems.co.uk/filestore/HI-TRAC%20100%20Brochure%20(Rcv.2%2001-06).pdf)



### 3.3.3 HI-TRAC ©EMU – Unidade monitora de evento e sistema de classificação de veículo

**Especificação:** O sistema é composto por dois sensores de pesagem em movimento, piezo-elétricos, e um laço indutivo por pista. Classifica mais de 100 tipos de veículos e armazena-os individualmente.

Configuração na pista:

- ⊙ Loop (até 8 pistas);
- ⊙ Loop Loop (até 4 pista);
- ⊙ Loop Piezo Loop (até 4 pista);
- ⊙ Piezo Loop Piezo (até 2 pista).

Capacidade de armazenamento – 4Mb RAM (400,000 gravações) – atualizável para 6Mb ou 8Mb.

**Funções:** Sistema com as seguintes opções de configuração: Laço - Contador Volumétrico; Laço - Velocidade e Classificação de Comprimento; Laço – Classificação Veicular; AVC com Classificação Bicicletas e Motocicletas; Sistemas de pesagem em Movimento e Monitoramento de Eventos.

#### **Fornecedor/contato**

TDC System Limited.  
58 Buckingham Road,  
Weston Industrial Estate  
Weston-Super-Mare  
North Somerset BS24 9BG  
Inglaterra.

Tel : +44(0)1934 644299

Fax: +44(0)1934 644255

E-mail: sales@tdcsystems.co.uk

Web-site: www.tdcsystems.co.uk

Link da especificação do produto: [http://www.tdcsystems.co.uk/filestore/Hi-TRAC%20EMU%20Brochure%20\(Rov.1%2011-06\).pdf](http://www.tdcsystems.co.uk/filestore/Hi-TRAC%20EMU%20Brochure%20(Rov.1%2011-06).pdf)



### 3.3.4 Sistema de pesagem em movimento TDS 821/WIM.

**Especificação:** Pode realizar medições em até quatro pistas com o sistema de pesagem em movimento. cada conjunto de sensores por pista possui: duas colunas com sensores de pesagem por pista, com quatro sensores quartzo Lineas (Kistler) por coluna, e um laço indutivo.

**Funções:** O sistema coleta as seguintes informações: contagem de veículos, classificação, velocidade, sentido, comprimento, peso por eixo e peso bruto total.

#### Fornecedor/Contato

Traffic Data Systems GmbH.

Gostritzer Strasse 61-63

D-01217 Dresden

Alemanha.

Telefone: +49 351 871-8199

Fax: +49 351 871-8111

E-mail: [info@traffic-data-systems.com](mailto:info@traffic-data-systems.com)

Site: [www.traffic-data-systems.com](http://www.traffic-data-systems.com)

Link para especificação do produto: [http://www.traffic-data-systems.com/pdf/tds821wim\\_en.pdf](http://www.traffic-data-systems.com/pdf/tds821wim_en.pdf)

### 3.3.5 Hestia P

**Especificação:** O sistema pode monitorar até quatro pistas, por o formato portátil, e até doze pistas, com instalações fixas. Uma memória máxima de 4 MB podendo ser expandido a 8 MB.

São utilizados sensores do tipo: PIEZOLOR (Classe 0, I ou II), AXOR K (ECM), AXOR W (ECM), quartzo KISTLER, MSI BL.

A disposição dos sensores segue a seguinte: Piezo Loop Piezo;

**Funções:** Permite realizar análise de tráfego e leitura dos pesos dinâmicos por eixo e veículo, por meio de dois sensores piezo-elétricos e um laço indutivo. As seguintes informações são analisadas: Contagem, Velocidade, Comprimento do Veículo, Taxa de ocupação, tempo entre cada veículo, categoria (tipo, classe) de cada veículo, distância entre eixos, peso por eixo e peso bruto total.

**Fornecedor/Contato**

Eletronique Controle Measure.

4 Rue du Bois Chêne le Loup,  
54500 Vandoeuvre Les Nancy,  
França.

Telefone: (33) 03 83 44 24 13

Fax : (33) 03 83 44 37 97

E-mail: [info@ecm-france.com](mailto:info@ecm-france.com)

Site: [www.ecm-france.com](http://www.ecm-france.com)

Link para a especificação do produto: <http://www.ecm-france.com/gb/display.php?filename=produits/hestia.html>

**3.3.6 AT-HI-TRAC®100 – Pesagem em movimento tráfego de alta velocidade e sistema de classificação.**

**Especificação:** O sistema é composto por dois sensores de pesagem em movimento, piezo-elétricos, e um laço indutivo por pista. Classifica mais de 100 tipos de veículos e armazena-os individualmente.

Configuração na pista:

- ⊙ Piezo Loop Piezo;
- ⊙ Loop Loop;
- ⊙ Loop Piezo Loop;
- ⊙ Piezo Piezo (metade do tamanho).

Capacidade de armazenamento: 4 Mb expansível para 6 Mb ou 8 Mb.

**Funções:** Sistema de coleta de dados de Contagem/Classificação automática de veículos (AVC) e Pesagem de carga por eixo em Movimento (WIM). Formado por 2 (dois) sensores piezo-elétricos e 1(um) laço indutivo instalados na rodovia por linha de detecção. Os sensores piezo-elétricos medem velocidade por eixo e espaçamento entre eixos. O laço indutivo detecta a presença do veículo e mede o comprimento do mesmo. Se são utilizados piezo-elétricos Classe 1, dados de peso por eixo também podem ser coletados.

Dados coletados: Hora e data; Código de Localidade; Número da pista; Peso por eixo do veículo; Velocidade entre eixos; Espaçamento entre veículos; Eixo Simples



Equivalente; Direção de Tráfego; Número de Contagem de veículos; Classificação; Peso bruto do Veículo; Comprimento do veículo.

**Fornecedor/contato**

Applied Traffic Limited.

Unit 5, Southview Park Marsack Street  
Caversham, Reading Berkshire RG4 5AF,  
Inglaterra.

Tel : +44(0)118 946 1900

Fax: +44(0)118 946 4769

E-mail: sales@appliedtraffic.co.uk

Web-site: www.appliedtraffic.co.uk

Link da especificação do produto:

[http://www.appliedtraffic.co.uk/app\\_downloads/documents/Brochure/AT-HI-TRAC%20100%20Brochure%20\\_Rev.pdf](http://www.appliedtraffic.co.uk/app_downloads/documents/Brochure/AT-HI-TRAC%20100%20Brochure%20_Rev.pdf)

**3.3.7 CROSS ASD 5 WIM Automatic traffic counter**

**Especificação:** Possibilidades de Comunicação: GSM/GPRS, RS232, TCP/IP, sistema de emergência, Wifi, rádio. Classifica os veículos de acordo com a especificação do usuário. Armazena até 441 500 veículos.

**Funções:** É um produto destinado à contagem e classificação de veículos passantes incluindo sua pesagem dinâmica por eixo utilizando sensores piezo-elétricos Kistler Lines em combinação com laços indutivos instalados na rodovia.

Identifica peso total, carga por eixo e por roda. Identificação da frequência de veículos sobrecarregados. Identificação de direção do tráfego

**Fornecedor/contato**

Cross Zlín, s.r.o.

Louky 397

763 02 Zlín

Republica Checa.

Telefone : +42(0)577 110 211

Fax: +42(0)577 110 222

E-mail: sales@cross.cz



Web-site: [www.cross.cz](http://www.cross.cz)

Link da especificação do produto:

[http://www.cross.cz/download/propagace/eng/cross\\_asd5wim\\_en.pdf](http://www.cross.cz/download/propagace/eng/cross_asd5wim_en.pdf)



---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRON, M.B. & ZUBROD, J.F. (1996) *Trade Pacts Fuel a Transformation in the Whole of Global Logistics*, Transportation and Distribution, abril 1996
- CENTRO DE ESTUDOS EM LOGÍSTICA (2006) *Acidentes no Transporte Rodoviário de Cargas no Brasil*, CEL-COPPEAD - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ
- COCU, X. (2006) *Commercial Motor Vehicle Size and Weight Enforcement*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. Belgian Road Research Centre. Bélgica
- CORNU, D. (2007) *Lineas® Quartz Sensors for Low- and High-Speed WIM*. KISTLER GmbH. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. Winterthur, Suíça
- CRABTREE, J. (2003) *The Remote Monitoring System and Virtual Weigh Station: Kentucky's Experience*. Apresentação em slides. Kentucky Transportation Center. USA
- DOUPAL, E. (2007) *WIM Systems in Switzerland*. RTS Consulting GmbH. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. KISTLER GmbH, Winterthur, Suíça
- FAVAI, P. (2006) *Slovenian Experience of Using WIM Data*. Apresentação em slides. WIM Workshop. Rio de Janeiro, RJ
- FHWA (2007) *Commercial Motor Vehicle Size and Weight Enforcement in Europe*. Federal Highway Administration, DOT, USA
- GILLMANN, R. (2005) *North American Weigh-In-Motion Activities*. Proceedings of the Fourth International Conference on Weigh-In-Motion – ICWIM4, Taiwan
- GOLTSMAN, H. (1978) *Weighing Master Plan in Brazil*, IX International Conference of the International Road Federation (IRF), Sweden
- JACOB, B. (2006) *European Specification on WIM of Road Vehicles*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. LCPC, França
- JACOB, B. (2007) *Overview of WIM Technologies and sensors*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. LCPC, França
- JACOB, B. e DOLCEMASCOLO, V. (2007) *WIM for Pre-screening and Enforcement of Overloads*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. LCPC, França
- MBT (2007) *ATRIS Presentation*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. MB Technology. Bucareste, Romênia
- MESCHÉDE, R. (2007) *Traffic Data Collection and Weigh-in-Motion (WIM)*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. BAST–Federal Highway Research Institute. Alemanha



OLOUFA, A. A. (2007) *Commercial Vehicle Inspection: Virtual Weigh-In-Motion*. FDOT - Florida Department of Transportation, USA

PAIVA, M.R.L. (2001) *E-LOGÍSTICA*, Tese de Doutorado, PPGE/UFSC, Florianópolis, SC

POULIKAKOS (2007) *Eureka Logchain Footprint. EMPA Presentation*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. KISTLER GmbH. Winterthur, Suíça

ROBOT (2007) *ROBOT Visual Systems Presentation*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. ROBOT GmbH. Alemanha

SANTERO, N., NOKES, W. e HARVEY, J. (2005) *Virtual Weigh Stations: The Business Case*. Partners for Advanced Transit and Highways (PATH). Institute of Transportation Studies – University of California at Berkeley e California Department of Transportation. USA

SHAMO, D. E. (2002) *Virtual Weigh Stations*. A presentation to the AASHTO Subcommittee on Highway Transport. Apresentação em slides. Indiana. USA

TAYLOR, B., BERTHELOT, C., BUSHMAN, R. (2004) *Commercial Vehicle Loading in an Urban Environment*. Apresentação em slides. Transportation Research Center. University of Saskatchewan. USA

THIONN, C. (2007) *Pesage en France*, Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durables, DGMT/DTMRF/TR. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. LCPC, França

VAN LOO, H. (2007) *WIM in The Netherlands*. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. Amsterdam, Holanda

WEISS, F. (2007) *TDS WIM Presentation*. Traffic Data Systems GmbH. Apresentação em slides para a equipe DNIT/UFSC. ROBOT Visual Systems, Alemanha

