

Identificação de Sistemas de Pesagem em Movimento

Convênio TT102/2007

Sistemas de Pesagem em Movimento - (WIM)

DNIT

Departamento Nacional de
Infra-estrutura de Transportes



Laboratório de Transportes e Logística



Universidade Federal de Santa Catarina

NEP

Núcleo de Estudos de Pesagens – NEP

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 Terrestre

Luiz Cláudio dos Santos Varejão
Coordenador Geral de Operações Rodoviárias

João Batista Berretta Neto
Coordenador de Operações Rodoviárias

SUPERINTENDÊNCIA REGIONAL/DNIT/SC

Engº João José dos Santos
Superintendente Regional de Santa Catarina

Engº Edemar 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 Lima Paiva, Dr.
Fernando da Rocha Pantoja, PhD.
Flavio De Mori, Dr.
Gustavo Garcia Otto, Engº. Civil

EQUIPE DE APOIO

Daniel Aragão, Administrador

APRESENTAÇÃO

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

Neste relatório são apresentadas as necessidades de controle e fiscalização da operação das rodovias, conceitos de pesagem em movimento e sistemas de pesagem em movimento, detalhando as tecnologias de sensores utilizadas, suas vantagens e desvantagens. São igualmente apresentados um conjunto de sistemas comerciais 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, gerando informações de suporte para o planejamento para rodoviário. O relatório apresenta também um conjunto de fatores de erros em sistemas de pesagem em movimento e aborda conceitos e características de sistemas de pesagem com a utilização de múltiplos sensores

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
MS-WIM	Sistemas de pesagem em movimento com múltiplos sensores
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	16
Figura 2 – Força de Impacto vs. Peso	19
Figura 3 – Modelo da dinâmica veicular	19
Figura 4 – Força de impacto como função parcial do peso	20
Figura 5 – Sensor “Bending Plate” (a) e (b).....	25
Figura 6 – Instalação típica do sistema “Bending Plate”	26
Figura 7 – Sensor WIM piezelétrico de quartzo	28
Figura 8 – Sistema WIM para pontes	29
Figura 9 – Sistema WIM com célula de carga	33
Figura 10 – Sensor tapete capacitivo com equipamento de análise de dados	34
Figura 11 – Sistema de Múltiplos Sensores	57



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Categorias de Sistemas de pesagem em movimento (ASTM E1318-02)	21
Tabela 2 – Requisitos de Desempenho de Sistemas WIM (ASTM E1318-02, 2002)	22
Tabela 3 – Valores típicos de acurácia	23
Tabela 4 – Valores comparativos de acurácia de sensores WIM	25
Tabela 5 – Estimativa de custos iniciais relativos	35
Tabela 6 – Estimativa de custos de manutenção anual ao longo da vida útil	36

SUMÁRIO

Capítulo 1 – introdução

1 Introdução	15
--------------------	----

Capítulo 2 – Sistemas de pesagem em movimento - WIM	17
---	----

2 Sistemas de pesagem em movimento - “Weigh-In-Motion” (WIM)	
2.1 Definição de Pesagem em Movimento (WIM)	18
2.2 Força de Impacto vs. Peso	20
2.3 Aplicações e usos dos sistemas WIM	20
2.4 Sistema WIM Bending Plate	24
2.4.1 Vantagens	26
2.4.2 Desvantagens	27
2.5 Sistemas WIM Piezelétrico	27
2.5.1 Vantagens	28
2.5.2 Desvantagens	28
2.6 Sistema Bridge WIM “ponte”	28
2.6.1 Vantagens	30
2.6.2 Desvantagens	30
2.7 Sistema WIM com Fibra ótica	30
2.7.1 Vantagens	32
2.7.2 Desvantagens	32
2.8 Sistemas WIM com célula de carga	32
2.8.1 Vantagens	33
2.8.2 Desvantagens	33
2.9 Sistema WIM com tapete capacitivo (“capacitance mat”)	33
2.9.1 Vantagens	34
2.9.2 Desvantagens	34
2.10 Considerações de custo de sistemas de Pesagem em movimento “Weigh-In-Motion”	35
2.11 Sistemas comerciais disponíveis, fabricantes, fornecedores e custos	36

Capítulo 3 – Fatores de erro em sistemas de pesagem em movimento -WIM

3 Fatores de erro em sistemas WIM	45
3.1 A acurácia do sensor (erro intrínseco)	46
3.2 Erros devidos a fatores externos (erros extrínsecos)	48
3.2.1 Devido à Inclinação do veículo	48
3.2.2 Devido à suspensão do veículo	48
3.2.3 Devido ao atrito (friccional) na suspensão	49
3.2.4 Devido à reação à frenagem	50
3.2.5 Devido ao movimento oscilatório dos veículos (chassis e eixos)	51
3.2.6 Devido aos frisos dos pneus	52



3.2.7	Devido às forças aerodinâmicas	52
3.2.8	Devido à instalação dos sensores (nivelamento)	53
3.2.9	Devido à rugosidade e planicidade do pavimento	53
Capítulo 4 – Sistemas de pesagem em movimento com múltiplos sensores – MS-WIM		
4	Sistema de pesagem em movimento com múltiplos sensores – MS-WIM	55
4.1	Vantagens.....	58
4.2	Desvantagens.....	58

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)

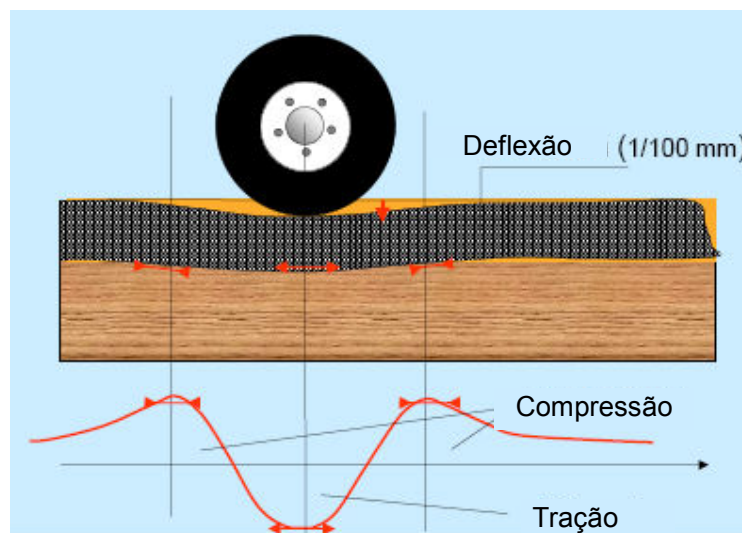


Figura 1 – Efeito da carga por eixo sobre o pavimento

Fonte: THIONN, 2007

Considerando a premissa de que o fluxo de veículos deva seja 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.

CAPÍTULO 2 – SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO - WIM

2 SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO - “WEIGH-IN-MOTION” (WIM)

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 (*Weigh-In-Motion* – 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.

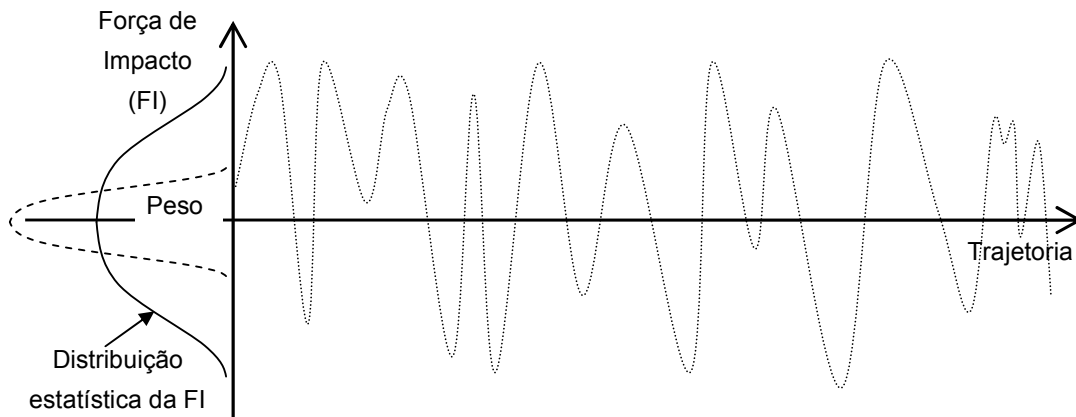


Figura 2 – Força de Impacto vs. Peso

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.

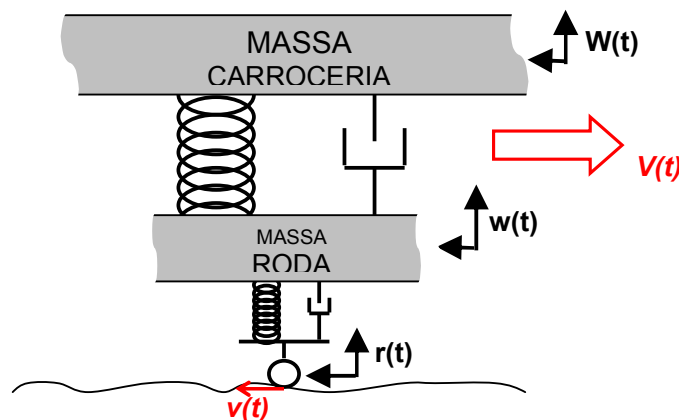
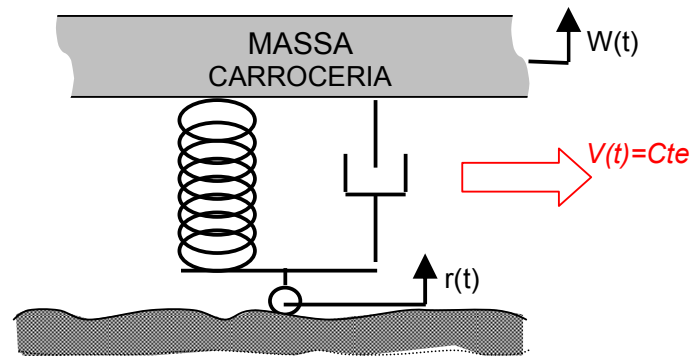


Figura 3 – Modelo da dinâmica veicular

2.2 Força de Impacto vs. Peso

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:

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

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 $d^2 r/dt^2$ e $d^2 y/dt^2$ 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).

2.3 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.

As categorias de sistemas WIM são listadas na Tabela 1 juntamente com a aplicação e os dados disponibilizados pelos sistemas de cada classe (ASTM E1318-02, 2002). A Tabela 2 apresenta os requisitos de desempenho funcional dos sistemas WIM conforme definidos pela ASTM (ASTM E1318-02, 2002).

Tabela 1 - Categorias de Sistemas de pesagem em movimento (ASTM E1318-02)

Descrição do item	Classes ou Categorias			
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Velocidade	16 a 130 km/h	16 a 130 km/h	16 a 130 km/h	3 a 16 km/h
Aplicação	Coleta de dados	Coleta de dados	Controle de Peso	Controle de Peso
Carga por roda	▲		▲	▲
Carga por eixo	▲	▲		▲
Carga por grupo de eixos	▲	▲	▲	▲
Peso bruto	▲	▲	▲	▲
Velocidade	▲	▲	▲	▲
Espaçamento entre eixos	▲	▲	▲	▲

Descrição do item	Classes ou Categorias			
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV
Classe do veículo	▲	▲		
Identificação do Posto	▲	▲	▲	▲
Pista/sentido de direção	▲	▲	▲	
Data e hora	▲	▲	▲	▲
No. Sequencial de registro	▲	▲	▲	▲
Distância entre eixos (+distantes)	▲	▲		
ESAL	▲	▲		
Código da infração	▲	▲	▲	▲
Aceleração			▲	▲

Tabela 2 – Requisitos de Desempenho de Sistemas WIM (ASTM E1318-02, 2002)

Função	Tolerância (95% de probabilidade)				
	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	
				Kg	± Kg
Carga por roda	± 25%	-	± 20%	2300	± 100
Carga por eixo	± 20%	± 30%	± 15%	5400	± 200
Carga por grupo de eixos	± 15%	± 20%	± 10%	11300	± 500
Peso Bruto	± 10%	± 15%	± 6%	27000	± 1100
Velocidade	± 2 km/h				
Espaçamento entre eixos	± 0,15 m				

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 Tabela 3 fornece valores típicos para a acurácia do sistema (intervalo de confiança igual a ± 1 desvio padrão) para sistemas WIM piezelétrico, “bending plate” e com célula de carga.

Tabela 3 - Valores típicos de acurácia (intervalo de confiança $\pm 1\sigma$)

Tecnologia de Pesagem em Movimento (WIM)	Acurácia na medida da carga por grupo de eixos	Acurácia na medida do peso bruto total
Cabo Piezelétrico	12%	10%
Sensor de Quartzo	10%	8%
“Bending plate”	3%	2%
Célula de Carga	2%	1%

A Tabela 3 mostra que é comum para sistemas WIM ser menos acurado ao pesar grupos de eixo individuais do que quando mede o peso total do veículo. O efeito da velocidade do veículo na acurácia total do sistema tem impacto e, também, algumas vezes, é necessário garantir intervalos entre de passagem dos veículos nos sistemas WIM para evitar que o peso de um veículo influencie no peso do veículo subsequente.

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.

Usualmente, é recomendado que o teste de aceitação tenha três estágios: verificação da operação do sistema, processo de calibração inicial, e uma verificação de operação contínua por 72 horas. Assim:

- ⊙ O teste do sistema verifica a transmissão correta de sinais desde os sensores na rodovia até a eletrônica de controle ao longo da rodovia, bem como a correta conversão dos sinais nos dados WIM desejados.
- ⊙ A calibração inicial consiste na comparação dos dados obtidos quando um ou mais veículos passam sobre os sensores WIM com medidas realizadas numa balança estática. Várias corridas são feitas para medir peso e espaçamento de eixo em cada via equipada com sensores WIM, com a precaução de se garantir que as velocidades (e trajeto) dos veículos de teste são semelhantes

ao esperado durante a fase de operação real do sistema. Esses dados são utilizados para calcular os fatores de peso WIM que convertem as medidas (cargas) dinâmicas em pesos (cargas) estáticos. Os veículos de teste fazem corridas adicionais em cada velocidade para verificar e calibrar os valores dos fatores de peso. Os fatores de peso podem ser ajustados para considerar variações sazonais, alterações nas condições do pavimento (e, mais raramente, para adequar as medidas a veículos específicos).

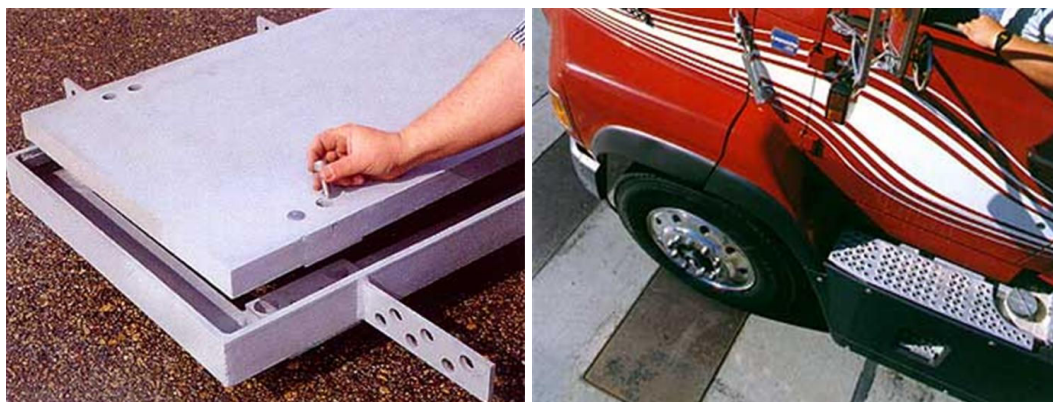
- ⊙ A calibração de 72h monitora a operação do sistema WIM para garantir funcionamento contínuo dentro das especificações requeridas. Quando esta fase é completada, o sistema está pronto para operação propriamente dita.

A fase de recalibração ocorre desde o início de operação ao fim da vida útil de um sistema WIM. Os fatores de relação entre medidas efetuadas e pesos estáticos são ajustados periodicamente ou quando reparos são feitos no sistema quando são identificados problemas durante revisões também programadas regularmente.

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

2.4 Sistema WIM Bending Plate

Os Sistemas WIM “bending plate” utilizam placas com sensores de pressão presos no lado inferior, como pode ser visto na Figura 5. À medida que o veículo passa sobre o “bending plate”, o sistema grava o esforço medido pelos sensores de pressão e calcula a carga dinâmica. A carga estática é estimada usando a carga dinâmica medida e os parâmetros de calibração. Os parâmetros de calibração são responsáveis por levar em conta 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)

b)

Figura 5 – Sensor “Bending Plate” (a) e (b)

Na Tabela 4 são apresentadas as acurácias típicas das balanças com os tipos de sensores que se aplicam à maior parte dos fabricantes de “bending plate”. Os números apresentados são baseados numa amostra mínima de 50 veículos carregados com 75% do limite legal permitido, com velocidades dentro de 10% de variação da velocidade de referência, e veículos transportando cargas vivas ou cargas líquidas não foram considerados na análise.

Tabela 4 - Valores comparativos de acurácia de sensores WIM

Velocidade	Aplicação	Tipo de Carga	Acurácia “bending plate”	Acurácia Célula de carga
3 a 16 km/h	Baixa velocidade (Antes da balança estática)	Eixo	3%	2%
		Eixo em Tandem	3%	1,5%
		Peso Bruto Total	2%	1%
18 a 40 km/h	Baixa velocidade	Eixo	4%	4%
		Eixo em Tandem	4%	3%
		Peso Bruto Total	3%	2%
42 a 72 km/h	Media velocidade	Eixo	6%	5%
		Eixo em Tandem	6%	4%
		Peso Bruto Total	4%	3%
acima de 74 km/h	Alta velocidade	Eixo	8%	6%
		Eixo em Tandem	8%	5%
		Peso Bruto Total	5%	4%

Sistemas WIM “bending plate” contem uma ou duas balanças e dois detectores de laço indutivo (ILDs). Na instalação de um “bending plate” típico (ou célula de carga) a balança é colocada na via perpendicularmente à direção do fluxo de veículos.

Quando duas balanças são usadas numa via, as balanças são colocadas de modo que as rodas esquerda e direita do veículo sejam pesadas individualmente. O par de balanças é colocado lado-a-lado na via ou espaçados de 5m. Sistemas “bending plate” com uma balança no percurso esquerdo ou direito da roda são usualmente usados em vias de baixo volume (ver Figura 6). Os laços indutivos são colocados antes ou depois das balanças. O laço localizado antes da balança detecta os veículos e alerta o sistema quanto à aproximação de veículo. O laço localizado após a balança determina a velocidade do veículo baseado no tempo em que o veículo leva para atravessar a distância entre os dois laços.

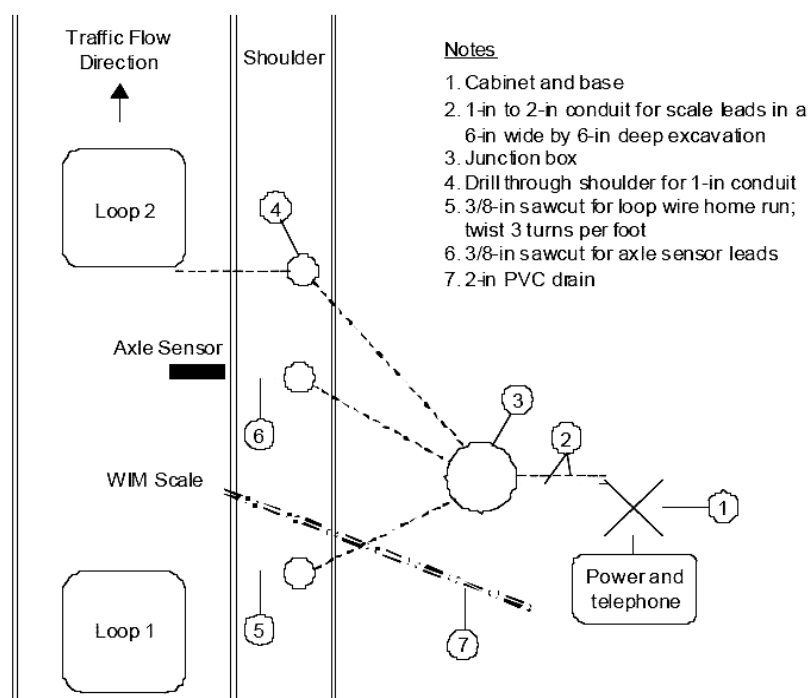


Figura 6 – Instalação típica do sistema “Bending Plate”

2.4.1 Vantagens

Sistemas WIM “bending plate” podem ser usados para coletar dados de tráfego e para controle de excesso de carga. 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. Sistemas WIM “bending plate” não requerem

substituição completa do sensor, mas somente uma substituição de alguns dos seus elementos constitutivos após 5 anos.

2.4.2 Desvantagens

Sistemas WIM “bending plate” não são tão precisos quanto os sistemas “load cell” e são consideravelmente mais caros do que os sistemas piezelétricos.

2.5 Sistemas WIM Piezelétrico

Sistemas WIM piezelétricos contêm um ou mais sensores piezelétricos que detectam uma variação na tensão causada pela pressão exercida no sensor pelo eixo e por meio disso mede o peso do eixo. Quando um veículo passa sobre o sensor piezelétrico, o sistema registra a saída de tensão do sensor e calcula a carga dinâmica. Assim como nos sistemas bending plate, a carga dinâmica fornece uma estimativa da carga estática quando o sistema WIM está adequadamente calibrado. O sistema WIM piezelétrico típico consiste de no mínimo um sensor piezelétrico e dois ILDs. O sensor piezelétrico é colocado transversalmente na pista. Os laços indutivos são colocados antes e depois do sensor piezelétrico. O laço colocado antes do sensor detecta veículos e alerta o sistema quanto a aproximação de veículo. O laço colocado depois do sensor fornece dados para determinar a velocidade do veículo e o espaçamento do eixo baseado no tempo que leva para o veículo atravessar a distância entre os laços.

Uma tecnologia mais recente de sensor WIM piezelétrico de quartzo é o sensor de quartzo Lineas. Ele possui um elemento de quartzo montado ao longo da linha central de um núcleo de alumínio (ver Figura 7). O sensor é instalado numa abertura feita na superfície da rodovia e é rebocado com um composto de epóxi e sílica. As propriedades elásticas e térmicas do composto combinam com as do pavimento da rodovia. O sensor é isolado das forças laterais por um material elástico para ajudar a eliminar erros causados pelo esforço lateral e não somente o vertical, o único que interessa. Um composto de areia de quartzo e epóxi é utilizado para colar o sensor no pavimento e permitir um acabamento homogêneo com a superfície do pavimento.

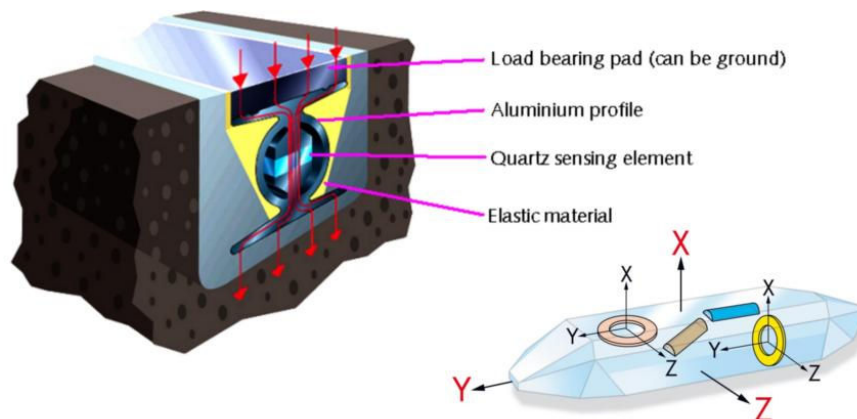


Figura 7 – Sensor WIM piezelétrico de quartzo

2.5.1 Vantagens

Os sistemas WIM piezelétricos podem ser usados em intervalos maiores de velocidade (16 a 112 km/hora) do que outros sistemas WIM. Os sistemas WIM piezelétricos podem ser utilizados para monitorar até quatro pistas, sem envelhecimento ou fadiga. Os efeitos de temperatura são desprezíveis uma vez que o coeficiente de temperatura do quartzo é da ordem de $-0.02\text{ \%}/\text{K}$. Uma vez que os cristais de quartzo não apresentam efeitos piroelétricos, alterações bruscas de temperatura não causam oscilações no sinal de saída. Medidas de carga estão dentro de $\pm 3\%$ de acurácia, irrespectivamente da velocidade do eixo e da posição da roda ao longo do sensor. A acurácia desses sensores faz com que tenham desempenho e custo competitivos com os sistemas WIM com células de carga.

2.5.2 Desvantagens

Sistemas WIM piezelétricos, exceto os de quartzo, são menos acurados do que os sistemas WIM com células de carga e os sistemas WIM “bending plate”. Esses sensores piezelétricos podem ser sensíveis à temperatura e às variações de velocidade. Usualmente, sensores piezelétricos devem ser substituídos a cada três anos.

2.6 Sistema Bridge WIM “ponte”

A tecnologia de sistema Bridge WIM “ponte” faz uso das obras de arte existentes em rodovias (ex: pontes, viadutos, etc.), ver Figura 8. Em resumo, sistemas WIM “ponte” usam transdutores de pressão para transformar as deflexões dessas estruturas

quando sujeitas a cargas móveis. As medidas de eixo, que são fundamentais para as estimativas de peso necessárias, por outro lado, podem ser executadas por meio das técnicas convencionais (via sensores portáteis ou permanentes). Esforços de pesquisas recentes resultaram em aumento da acurácia dos dados obtidos e na extensão da aplicabilidade da tecnologia para diversos tipos de pontes.



Figura 8 – Sistema WIM para pontes

É importante mencionar o desenvolvimento da tecnologia de sistema WIM “ponte” denominada SiWIM, um protótipo da próxima geração de sistemas WIM “ponte” que opera da seguinte forma: quando um veículo passa por sobre uma ponte, uma série de transdutores de pressão montados abaixo da ponte (e, portanto, invisível ao motorista) mede o “peso” do veículo como derivada da tensões de saída dos transdutores. Ao contrário do que se pode imaginar, estas tensões não são transformadas para unidades de pressão. Os sinais de cada um dos sensores (tipicamente 16 sensores para cada duas pistas de rolagem) são amplificados, convertidos digitalmente e armazenados.

Esses dados armazenados são então utilizados como parâmetros de entrada de algoritmos específicos visando fornecer o valor de peso por eixo, espaçamento entre eixos, peso total do veículo, etc. Usualmente, os transdutores, além de termicamente compensados, podem fazer uso das informações de temperatura disponibilizadas pelos sensores térmicos instalados na ponte (ou estrutura) com esse propósito específico. Desses dados de temperatura se originam fatores de correção que, em sua grande maioria, aumentam consideravelmente a acurácia do sistema WIM “ponte”.

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.

2.6.1 Vantagens

Os componentes de hardware do sistema SiWIM não possuem avanços significativos na tecnologia de sensores e, por isso, podem ser considerados consolidados. Além disso, potenciais benefícios do sistema SiWIM 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.

2.6.2 Desvantagens

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. No projeto atual, os dados dos transdutores são especificamente utilizados para a aplicação em tela, não existindo dados relativos à pressão dos transdutores. No entanto, pouco esforço é requerido para transformar os dados armazenados (de tensão) oriundos dos sensores em dados de pressão. Essa facilidade faz com que os dados do sistema WIM “ponte” possam ser utilizados também por engenheiros de estruturas e de pontes. 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.

2.7 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.

Além do que já foi dito anteriormente nesse trabalho em relação a sensores óticos, serão abordados a seguir alguns pontos específicos no que diz respeito à aplicação desses sensores em sistemas de pesagem em movimento.

Interferômetro de Michelson, com hardware e software especialmente projetados, foi desenvolvido. O interferômetro foi experimentalmente submetido a diversas cargas (compressivas) dinâmicas de diferentes magnitudes e com diferentes taxas de carregamento. Os experimentos mostraram que tanto o número de franjas de interferência bem como o período dessas franjas apresentou padrões que puderam ser usados para indicar a carga dinâmica. Foi usada uma técnica especial de calibração para o interferômetro e daí pôde, também, ser extraído o peso estático. Com isso, a tecnologia se mostrou promissora para estimativas de cargas dinâmicas como para estimativas das correspondentes cargas estáticas.

Sistema WIM baseado em polarimetria com uso de fibra ótica para medir peso de veículos, cargas e configurações de eixos e contagem de veículos foi desenvolvido. Este sensor é baseado numa célula de fibra ótica bi-refringente que possui, intrinsecamente, um sistema com duas polarizações ortogonais onde cada polarização possui um índice de refração associado e distinto do outro, e, portanto, a velocidade da luz numa polarização é diferente da outra polarização. Ao ser aplicada uma força externa (peso) sobre o sensor, esse peso altera as características de polarização da luz propagante, fazendo com que as componentes em cada uma das polarizações ortogonais da fibra ótica tenham suas velocidades alteradas, levando a uma composição na saída diferente da luz original. Essa diferença é codificada e relacionada ao peso dinâmico aplicado e, mais tarde, por meio de uma calibração, fornece uma estimativa do peso estático.

Com relação aos sistemas WIM baseados em sensores do tipo “microbend” óticos, ele reside no fato de que quando uma fibra ótica é deformada, a luz irá fugir da área do núcleo para a camada superficial. Fazendo um acoplamento dessa luz para a camada externa (“cladding”), fará com que a intensidade da luz no feixe principal diminua. A quantidade de luz perdida é então proporcional ao raio de curvatura do microbend que é proporcional ao peso aplicado. Com isso, pode-se ter uma estimativa do peso aplicado, seja ele dinâmico ou estático.

2.7.1 Vantagens

Uma das principais vantagens dos sistemas WIM baseados em fibra ótica é que eles apresentam ótima resistência à interferência eletromagnética causada pela estrutura de ferro de concreto Portland. Embora o custo ainda seja elevado, é esperado, o que já aconteceu com outras áreas de aplicação de fibras óticas (por exemplo, em telecomunicações), que o seu custo caia na proporção do aumento do volume de produção. Sua aplicação é especialmente considerada promissora em situações que requeiram um número maior de sensores.

2.7.2 Desvantagens

Ainda não é uma tecnologia consolidada, sendo ainda necessárias extensivas aplicações em campo visando demonstrar sua durabilidade, confiabilidade e seu desempenho operacional. Porém, um fato promissor, é que tem sido mostrado que tecnologia é capaz de alcançar elevadíssimos graus de acurácia, porém, como mencionado, somente em pequena escala e em experimentos com protótipos.

2.8 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 ILD 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 fluído 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 conforme indicado na Tabela 3. A célula de carga é colocada transversalmente na pista (ver Figura 9). O laço indutivo é colocado antes da célula de carga com a finalidade de detectar veículos e alertar o sistema quanto à aproximação de veículo. Um segundo ILD utilizado após a célula de carga tem por objetivo determinar o espaçamento entre eixos e a velocidade do veículo. Para

determinar o espaçamento entre eixos pode ser usada a tecnologia piezelétrica ou a tecnologia baseada na variação da resistência do sensor com a pressão aplicada.



Figura 9 – Sistema WIM com célula de carga

2.8.1 Vantagens

O sistema WIM com célula de carga é o mais acurado sistema WIM disponível. Desse modo, pode ser utilizado tanto para coleta de dados de tráfego como para controle (legal) de excesso peso.

2.8.2 Desvantagens

O sistema WIM com célula de carga 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.

2.9 Sistema WIM com tapete capacitivo (“capacitance mat”)

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 (ver Figura 10), é então demonstrada ser proporcional ao peso do eixo. Tapetes capacitivos são também fabricados utilizando-se placas de alumínio separadas por uma grade de material isolante tendo o ar como dielétrico.



Figura 10 – Sensor tapete capacitivo com equipamento de análise de dados

2.9.1 Vantagens

Sensores de tapete capacitivo podem ser usados em aplicações WIM portáteis bem como permanentes.

2.9.2 Desvantagens

Sistemas WIM com tapete capacitivo não são tão acurados para estimar peso quanto os sistemas WIM piezelétrico de quartzo, célula de carga e “bending plate”. Além disso, os custos de equipamento e instalação desses sistemas, portáteis ou

permanentes, são similares aos custos dos sistemas WIM de célula de carga, os quais estão entre os sistemas WIM mais caros disponíveis.

2.10 Considerações de custo de sistemas de Pesagem em movimento “Weigh-In-Motion”

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.

A Tabela 5 apresenta 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). Esses custos podem variar de fabricante para fabricante e com o modelo do sensor, sendo que nesta estimativa não são considerados custos com a eletrônica acessória, com os consoles ao longo da rodovia, sistemas para o processamento de sinais e outros.

Tabela 5 – Estimativa de custos iniciais relativos*

Custo Inicial	Piezelétrico	“Bending plate”	Célula de Carga
Equipamentos	33%	66%	100%
Instalação e materiais	35%	65%	100%
Interrupção do tráfego	25%	50%	100%

* maior custo é referência – 100%

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. A Tabela 6 apresenta os custos relativos de reparo e manutenção durante o ciclo de vida útil de sistemas WIM (referência tomada das médias de custos de instalações americanas). Ainda, é assumido que uma rotina de

manutenção do pavimento da rodovia no entorno do sistema WIM é feito anualmente e que os sensores piezelétricos são substituídos a cada 3 anos, os “bending plates” são substituídos a cada 5 anos, e que cada célula de carga é também substituída a cada 5 anos. Conforme mencionado em relação aos custos iniciais, os custos de manutenção durante o ciclo de vida útil podem variar de acordo com o fabricante e modelo do sensor.

Tabela 6 – Estimativa de custos de manutenção anual ao longo da vida útil

Custo Inicial	Piezelétrico (3 anos)	“Bending plate” (5 anos)	Célula de Carga (5 anos)
Equipamentos	66%	100%	15%
Instalação e materiais	35%	65%	100%
Remanejamento do tráfego	100%	100%	50%

Os números apresentados demonstram que a busca por sistemas mais acurados e com maior confiabilidade se justifica, pois representam uma diferença mínima quando comparados com os custos de operação e de manutenção ao longo do ciclo de vida útil dos sistemas completos (aí incluídos reparos e manutenção das rodovias no entorno dos sistemas WIM).

2.11 Sistemas comerciais disponíveis, fabricantes, fornecedores e custos

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.

2.11.1 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

Site: www.irdinc.com

Link para especificação do produto:

http://www.irdinc.com/products/pdf/540WIM_0605.pdf

2.11.2 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

Nº 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



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

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

2.11.3 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\(R%20Rev.1%2011-06\).pdf](http://www.tdcsystems.co.uk/filestore/HI-TRAC%20EMU%20Brochure%20(R%20Rev.1%2011-06).pdf)

2.11.4 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

Site: www.traffic-data-systems.com

Link para especificação do produto: http://www.traffic-data-systems.com/pdf/tds821wim_en.pdf

2.11.5 HESTIA P

Especificação: O sistema pode monitorar até quatro pistas, par 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

Site: www.ecm-france.com

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

2.11.6 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

2.11.7 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 Lineas 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

Link da especificação do produto:

http://www.cross.cz/download/propagace/eng/cross_asd5wim_en.pdf

CAPÍTULO 3 – FATORES DE ERRO EM SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO -WIM

3 FATORES DE ERRO EM SISTEMAS WIM

Neste Capítulo são apresentados os fatores que afetam a acurácia dos sistemas WIM de baixa velocidade (LS), de alta velocidade (HS) e dos sistemas (balanças) estáticos de pesagem, as similaridades bem como as diferenças entre os sistemas e como reagem aos fatores. As balanças estáticas de pesagem são usadas como base, uma vez que elas são amplamente aceitas e usadas para aplicação de leis relativas ao controle de excesso de peso e conseqüente multa.

A aplicação da lei e conseqüente multa são (até hoje) sempre baseadas nos limites do peso estático. Esta abordagem é adequada para todas as necessidades legais *exceto na determinação de dano potencial causado por veículos de carga*, principalmente os veículos que apresentam excesso de peso. Isto porque, *o dano potencial causado por veículos de carga é devido à força máxima exercida pela roda sobre a superfície da rodovia durante a viagem e não necessariamente por motivos de excesso de peso (estático)*.

Ainda assim existem algumas boas razões para se usar os limites do peso estático na proteção de rodovias. Provavelmente, o mais importante é que o operador do veículo não tenha de fato a oportunidade ou os mecanismos de verificar as possíveis forças de impacto de seu veículo, mormente durante a viagem. De forma a proporcionar um mecanismo ao operador de verificar se potencialmente seu veículo pode causar danos ao pavimento, opta-se pelo controle baseado no peso estático, uma vez que o operador não enfrenta absolutamente nenhum problema em manter o peso total dentro dos limites. Porém, inevitavelmente, existem bem mais dificuldades operacionais na verificação dos pesos devidos aos eixos (principalmente em movimento).

A aplicação da lei e a conseqüente multa devido ao excesso de peso de veículos eram realizadas em balanças estáticas de plataformas sobre as quais eram colocados os veículos por completo. Somente o peso bruto era determinado com alta precisão, completamente independente do tipo de veículo, de sua condição de manutenção e da maneira como o veículo estava estacionado na plataforma.

Para superar a desvantagem das balanças fixas e estáticas de pesagem (evasão, impossibilidade de fazer uma verificação em qualquer lugar, etc.) foram

desenvolvidas as balanças móveis de pesagem. Uma vez que cada roda (em alguns casos cada eixo) é medida individualmente, mais informação é disponibilizada, isto é, as cargas da roda e do eixo bem como o peso bruto são capazes de serem derivados. A precisão desses instrumentos é um pouco menor comparada com a das balanças de plataforma, mas permitem que as pesagens sejam efetuadas em praticamente, qualquer lugar. Porém, dependendo de como muitas balanças são usadas, podem ocorrer erros adicionais devido à transferência de peso entre os eixos, especialmente quando se usa somente duas plataformas de pesagem na aferição de peso de veículos com três ou mais eixos.

A desvantagem de ter que parar os veículos para um controle de peso apropriado levou à idéia de se usar sistemas WIM de baixa e de alta velocidade na aplicação de lei e conseqüente multa.

As sessões seguintes mostram quais os erros que podem ocorrer em sistemas de pesagem em movimento (WIM) em comparação com os pesos obtidos com as balanças estáticas de pesagem. Esta comparação é um bom ponto de partida para a avaliação das capacidades WIM baseada nas informações internacionalmente conhecidas e aceitas sobre a tecnologias de pesagem.

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”.

3.1 A acurácia do sensor (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, repetitibilidade, 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). De forma sumária, tem-se que:

Aprovação de tipo: de uma forma genérica e sem preciosismos, requer que mais de uma amostra seja testada sob condições de laboratório para encontrar o desempenho do sistema de medida. É usualmente necessário que se certifique e se aprove o projeto e o método ou processo de produção. O procedimento consiste de muitos testes para provar que o registro (ou indicação) de peso está correto sob todas as condições relevantes. Em particular, todos os resultados devem atender a todas as especificações, aí incluídos os preceitos e exigências dos institutos metrológicos a que se fizerem subordinar; e

Aprovação pré-operação (ou aprovação inicial): O equipamento a ser posto em operação é testado sob condições simplificadas, preferencialmente em temperatura ambiente e instalado no local em que operará. Dependendo dos resultados da aprovação de tipo, outros testes devem também ser realizados. Por exemplo, é muito comum fazerem-se testes com cargas excentricamente colocadas nos veículos, isto é, desbalanceadas. O intuito dos testes adicionais é garantir que, mesmo em situações não ideais de carregamento, o comportamento do equipamento é considerado dentro dos limites aceitáveis pelos ditames legais.

Na União Européia as balanças estáticas devem estar de acordo com a regulamentação 90/384/EEC. Assume-se que todos os requisitos são satisfeitos se a balança for testada e aprovada por meio do padrão EN 45501, o qual é baseado na recomendação OIML No. 76 e subseqüentes atualizações. Cumpre notar que as regulamentações para os sistemas WIM ainda estão em andamento, havendo muita divergência ainda sobre a forma de se verificar o peso ou a força de impacto, o que conduz a uma antiga discussão sobre o comportamento estatístico de um sistema WIM e o comportamento determinístico de peso estático internacionalmente estabelecido.

3.2 Erros devidos a fatores externos (erros extrínsecos)

3.2.1 Devido à Inclinação do veículo

A inclinação do veículo acarreta dois tipos básicos de erros:

- ⊙ causa um deslocamento do centro de gravidade e, conseqüentemente, um deslocamento da carga na direção dos eixos (rodas) em nível mais baixo, fornecendo medidas errôneas para ambos os eixos; e
- ⊙ acarreta um valor medido de carga menor uma vez que os sensores só registram as componentes de peso (força) verticais à superfície dos mesmos (esse erro é, usualmente, bem pequeno, uma vez que 5% de inclinação só influencia o peso medido em cerca de 0,2%).

Dois casos distintos podem ocorrer dependendo da direção relativa da inclinação e da direção do movimento do veículo (e, obviamente do tipo da medida sendo efetuada: se por roda, eixo ou peso bruto total):

- ⊙ uma inclinação na direção do movimento do veículo resulta numa transferência de carga para os eixos mais baixos. Se o que estiver sendo medido é o peso bruto total, esse erro é 100% compensado pois o efeito subtrativo nos primeiros eixos é compensado pelo efeito aditivo nos eixos mais baixos e, portanto, não ocorrerá erro para essa medida.
- ⊙ uma inclinação na direção transversal ao movimento do veículo resulta numa transferência de carga para as rodas localizadas na parte mais baixa. Se o que estiver sendo medido é o peso bruto total, por motivos análogos, esse erro é também 100% compensado. Caso esteja sendo usado um sensor longo o suficiente e que pese o eixo completo (as rodas de ambas as pontas de um eixo), o erro é também 100% compensado na medida por eixo. Se o sensor for um sensor de metade de eixo (de rodas), a derivação da medida é levada a efeito, usualmente, duplicando-se o valor medido. Neste caso, independente de fatores de calibração que são usados para reduzir esse tipo de erro, a medida de peso por eixo é consideravelmente afetada.

3.2.2 Devido à suspensão do veículo

A carga em uma roda ou eixo é diretamente proporcional à compressão da mola da suspensão. Se devido à carga a compressão é diferente da média, um sensor

(calibrado para suspensão com compressão média) medirá erroneamente a carga aplicada. Quanto mais incompressível a mola estiver - fim do curso da compressão da mola - maior será o erro (a compressão da mola da suspensão do eixo traseiro de um veículo de carga - com capacidade de 12 ton com carga máxima - varia de aproximadamente 100 mm entre o veículo sem carga e o veículo com carga máxima).

Ao se usar sistemas WIM, principalmente sistemas WIM de alta velocidade, esse efeito é bastante severo, principalmente se houver algum desnível no pavimento (rachadura, próprio desnível entre o pavimento e sensor, etc.) nas proximidades do sensor ou se houver uma oscilação do chassi do veículo (lembrar que o movimento do veículo não necessariamente acompanha o movimento dos eixos).

Quando se utiliza uma balança estática de eixos (rodas) esse efeito é mais pronunciado somente no caso de veículos com três ou mais eixos e na presença de sensores inadequadamente nivelados. O efeito é usualmente menor do que em se usando sistemas WIM (quer em alta ou baixa velocidade) porque as modernas suspensões já compensam o desnível (e conseqüente oscilação) ao ajustar dinamicamente as compressões das molas da suspensão, fazendo com que o movimento oscilatório do chassi acompanhe o movimento dos eixos de forma bastante similar. Outra forma de minimizar os erros devido à suspensão é medir grupos de eixos ao invés de eixos isolados, uma vez que isto compensa a transferência de carga entre eixos do mesmo grupo devido às oscilações. Com isto tem-se medidas mais acuradas de grupos de eixo e de peso total bruto do veículo.

3.2.3 Devido ao atrito (friccional) na suspensão

Dois tipos de atrito friccional ocorrem nas suspensões de veículos: mecânico e hidráulico. A direção de ambas as forças de fricção se opõem à direção vertical do movimento dos eixos. A magnitude dessas forças de fricção depende do tipo da suspensão e das condições de manutenção do veículo.

No caso de suspensões mecânicas, usualmente, a magnitude da força friccional pode ser considerada independente da velocidade (vertical) dos eixos. Já no caso de suspensões hidráulicas, as forças friccionalas são, basicamente, devidas aos absorvedores de choque, com pequena parcela devidas à fricção mecânica da estrutura da suspensão. A força de fricção (atrito) em sistemas hidráulicos depende do tipo de absorvedor utilizado bem como do tipo de fluido usado. Usualmente, a

força de fricção em suspensões hidráulicas aumenta linearmente com a velocidade vertical do eixo.

Suspensões modernas, em disseminado uso atualmente, apresentam mais fricção hidráulica do que mecânica, até porque os produtores de veículos tendem a utilizar absorvedores de choque e a minimizar o atrito mecânico tendo em vista que esse atrito é também responsável pelo indesejado prematuro desgaste dos materiais que compõem a estrutura de uma suspensão.

O atrito friccional da suspensão pode acarretar aumento ou diminuição do peso, dependendo do tipo de movimento vertical que o eixo está tendo no exato momento em que está passando por sobre os sensores de um sistema WIM ou, no caso de uma balança estática, no como o movimento do eixo veio a se estabilizar na posição de repouso. De qualquer forma, a fricção (hidráulica ou mecânica) na suspensão é benéfica aos sistemas WIM pois ela tem a característica de amortecer o movimento oscilatório dos eixos.

Terminando, cumpre ressaltar que no caso de pesagem estática de veículos com três ou mais eixos, o principal fator de erro é a fricção de causa mecânica, independente do tipo de suspensão que o veículo possui.

3.2.4 Devido à reação à frenagem

Em sistemas WIM (principalmente em altas velocidades) geralmente não existe necessidade de frenagem, portanto os efeitos da frenagem no peso medido são fatores de segunda ordem e podem ser desprezados. Porém, é importante garantir que o local destinado à pesagem não impõe a necessidade de uso de freio durante a passagem dos veículos sobre os sensores de peso (acesso ao sistema WIM bastante retilíneo nos 200m que antecedem ao sistema WIM é o desejável).

Já na pesagem estática, existe a necessidade de frenagem e, conseqüentemente, os erros em acurácia quando da medição de veículos de três ou mais eixos é considerável. Os erros dependem de como as forças de frenagem são transferidas para o chassi e, usualmente, os freios devem ser desativados por um breve período (antes e durante a pesagem propriamente dita) de forma a garantir que a suspensão tenha condições de absorver os efeitos do freio (ou melhor, da desativação dos freios). De qualquer forma, ainda persiste a influência de forças friccionais residuais induzidas pela frenagem (ou desativação dos freios).

3.2.5 Devido ao movimento oscilatório dos veículos (chassis e eixos)

O erro devido ao movimento oscilatório do veículo (e de suas partes) é considerado ser O maior de todos os erros que impactam sistemas WIM. São identificados dois tipos básicos e predominantes de movimentos oscilatórios:

- ⊙ o movimento oscilatório do chassis do veículo, com frequência natural de oscilação entre 1 e 3 Hz, e que depende do tipo de carga e da sua distribuição ao longo do veículo; e
- ⊙ o movimento oscilatório do(s) eixo(s) do veículo, com frequências de oscilação no entorno de 10 Hz.

Os erros nas medidas ocorrem por não se ter sensores (disponíveis comercialmente) com comprimentos da ordem de um período completo da menor oscilação na velocidade do veículo e, conseqüentemente, reduzir ou cancelar o efeito da oscilação. Lembrar que, ao longo do período completo da oscilação, a influência dessa oscilação é proporcionar componentes de força adicionais ora positiva e ora negativamente ao valor do "peso", com magnitudes praticamente semelhantes - daí o cancelamento dessas componentes se forem integradas ao longo de um período completo). Para se ter uma idéia, à velocidade de 10 km/h seria necessário um sensor de, aproximadamente, 3m de comprimento na direção do movimento. Já na velocidade de 100 km/h, o comprimento necessário seria de aproximadamente 30m.

Como dito, os erros minimizam ou aumentam as medidas efetuadas quando comparadas à carga real e, obviamente, dependem da direção do movimento oscilatório no exato momento em que o eixo (veículo) esta passando por sobre os sensores.

Devido ao fato do movimento oscilatório de quaisquer eixos serem praticamente semelhantes, só dependendo da velocidade dos veículos, uma técnica que vem sendo utilizada por fornecedores de sistemas WIM é se utilizar de 2 sensores, um à esquerda e outro à direita da pista, deslocados um do outro, longitudinalmente à direção da rodovia, de um espaçamento correspondente a meio período da oscilação nominal do eixo. Em termos práticos, à velocidade de 10km/h, o espaçamento seria de 0,14m, e para 100km/h esse espaçamento seria da ordem de 1,4m.

A magnitude dos erros devidos aos movimentos oscilatórios depende da velocidade, do tipo de suspensão do veículo (especificamente do absorvedor de choque ou amortecedor) e a planicidade do pavimento (em menor escala, da rugosidade do mesmo).

Cumpra mencionar que o uso de múltiplos sensores (sendo utilizados como coletores de "peso" em momentos distintos ao longo da rodovia (trechos de sensores de 5 a 60m com até 96 sensores já foram descritos na literatura) vem se mostrando uma solução bastante adequada para reduzir (se não eliminar) os efeitos de movimento oscilatório do chassi e dos eixos, quer por causa do veículo (suspensão) que por causa do pavimento.

As balanças estáticas, obviamente, não apresentam tais problemas tendo em vista que o operador do sistema é obrigado a aguardar a estabilização completa do veículo.

3.2.6 Devido aos frisos dos pneus

Se forem utilizados sensores em forma de tiras (muito usuais hoje em dia) Os frisos dos pneus podem induzir erros nas medidas se o tipo de ranhura no pneu for grande e transversal ao movimento do veículo (isto é típico de pneus usados em época de neve, o que não é o caso de pneus utilizados no território brasileiro, apesar de certos veículos - principalmente veículos de cargas extra pesados - possuírem pneus com consideráveis ranhuras com componentes transversais nos pneus).

Os valores medidos podem ser maiores ou menores do que a carga real, dependendo de onde os frisos estão em relação à tira do sensor e de seu tamanho (largura). A magnitude dos erros está demonstrada na literatura que guarda uma relação entre os tamanhos (larguras) dos frisos e dos tamanhos (larguras) das tiras dos sensores. Esses erros são, porém, de segunda ordem se comparados aos erros causados pelo movimento oscilatório do veículo (e de seus eixos).

3.2.7 Devido às forças aerodinâmicas

Na direção vertical as forças aerodinâmicas são muito pequenas quando comparadas ao peso (força) do veículo. Somente a força do vento transversal pode causar alguma influência, pois a carga de um grupo de rodas pode ser lateralmente transferida para o grupo de rodas axialmente oposto. Como em casos anteriores de

deslocamento de carga (nesse caso o deslocamento é lateral), o uso de sensores para medição de eixo inteiro compensa em 100% o erro devido ao esforço aerodinâmico lateral. Nos casos de uso de sensores de roda, o erro é, como nos outros casos mencionados, bem considerável.

3.2.8 Devido à instalação dos sensores (nivelamento)

A falta de nivelamento na instalação dos sensores (ou mesmo o desnivelamento posterior ocasionado pelo desgastes do pavimento e sensores com o uso), resultam em erros que têm como fonte a própria suspensão dos veículos (mencionado anteriormente). Trata-se, portanto, de erros que magnificam ou induzem aos erros devidos à suspensão e, como tal, devem ser evitados. Se não for possível, as medidas que auxiliam os sistemas no tocante aos erros devido à suspensão devem ser levadas a cabo.

3.2.9 Devido à rugosidade e planicidade do pavimento

A rugosidade e a falta de planicidade no pavimento antes, entre e mesmo depois dos sensores induzem a oscilações nos eixos e no chassi do veículo. São, portanto, causadoras, em última análise, das oscilações que, essas sim, deterioram a acurácia das medidas. Para tratar desse problema existem normas que definem as especificações dos pavimentos, etc. mas, de forma geral, fica-se refém de uma estrutura muito rígida de pavimento e que, de forma geral, impacta no uso mais abrangente de sistemas de pesagem em movimento. Exemplo de normas: na Europa, o COST 323 WIM Specification (1997) e, nos Estados Unidos da América, tem-se a ASTM Standard Specification for Highway Weigh in Motion Systems with User Requirements and Test Methods (2002).

CAPÍTULO 4 – SISTEMAS DE PESAGEM EM MOVIMENTO COM MÚLTIPLOS SENSORES – MS-WIM

4 SISTEMA DE PESAGEM EM MOVIMENTO COM MÚLTIPLOS SENSORES – MS-WIM

Muito dos dados e problemas de acurácia em sensores WIM reportados na literatura dizem respeito à utilização de somente um sensor ou grupo de sensores, porém, quase sempre, restrito à média dos dados obtidos como resultado final do processo de “pesagem”. Em outras palavras, os dados obtidos usualmente eram tratados e processados sem se levar em conta características típicas de arquiteturas de múltiplos sensores conforme amplamente empregado em outras áreas da engenharia. Exemplo típico de tratamento de múltiplos dados é o caso de processamento (integração) coerente de diversos sinais de eco radar: esse tipo de processamento visa reduzir o ruído de fundo – que apresenta alto grau de decorrelação entre os sinais recebidos em tempos diferentes – e enfatizar o sinal do eco verdadeiro – que é correlatado, ou melhor, que apresenta alto grau de correlação entre os sinais recebidos em tempos diferentes..

Sem perda de generalidade, pode-se fazer um paralelo com o que acaba de ser dito para se aplicar essas “novas” tecnologias de processamento à área de sistema WIM, ou seja, processamento de diversos sinais, oriundos de diversos sensores de carga buscando reduzir os sinais decorrelatados devidos às oscilações indesejáveis do veículo e dos eixos – independente das causas e maximizar os sinais correlatados devido somente à força exercida pelos pneus nos sensores.

Essa característica típica de múltiplos sensores, denominados na literatura de sistemas MS-WIM – Multi-Sensors WIM, diz respeito, basicamente, à capacidade que hoje se possui de, com mais de um ponto de coleta de dados se montar uma arquitetura de sensores que, com adequado processamento/combinação dos dados individuais, resulte numa efetiva redução da influência dos erros extrínsecos afetos aos sistemas WIM. Cumpre mencionar que esses erros, principalmente, são devidos às oscilações do veículo e de seus eixos, independentemente de suas causas primeiras. Em suma, a maior parte dos erros são provocados por oscilações que, estas sim, têm caráter distinto: desnivelamento, forças de atrito na suspensão, rugosidade do pavimento, etc..

Dentre as vantagens da utilização de múltiplos sensores (ou de um Sistema MS-WIM) podem ser ressaltadas:

- ⊙ Redução da dependência dos tipos e características do pavimento, reduzindo-se as necessidades de especificações muito rígidas para o pavimento quando da instalação de sistemas (qualquer trecho retilíneo de aproximadamente 300 m de uma rodovia, desde que devidamente pavimentada, a princípio, poderia ser escolhido). Obviamente isto pode reduzir consideravelmente os custos associados à implementação das infra-estruturas rodoviárias (e.g., pavimento rígido) que hoje em dia são necessárias visando, por exemplo, a aplicação de multas por excesso de peso;
- ⊙ Redução da dependência dos tipos e características dos sensores, tendo em vista que qualquer tipo de sensor, do ponto de vista técnico, pode ser utilizado em uma arquitetura distribuída e os resultados finais no tocante à acurácia serem beneficiados pelo uso dos algoritmos de tratamento de sinais em tela. Isto possibilita uma maior abrangência do tipo de sensor a ser utilizado e, concomitantemente, amplia o leque de fornecedores em potencial;
- ⊙ Ampliação do uso de mesmos sistemas para diversas finalidades, uma vez que o número de sensores a ser utilizado, como demonstrado na literatura existente, guarda uma relação com a acurácia final obtida. Isto possibilita que um mesmo tipo de sistemas, com números de sensores distintos e, portanto, com acurácias distintas, possam ser utilizados para finalidades diversas (classificação, seleção, multa, etc.). Do ponto de vista da logística da manutenção e do ganho de escala na produção isto antecipa vantagens significativas na relação custo benefício; e
- ⊙ Facilitação nos processos de calibração e aferição, uma vez que as tecnologias de processamento de dados e os algoritmos existentes fazem uso intensivo de técnicas ditas adaptativas (redes neurais, médias adaptativas, etc.). Essas técnicas, a princípio, ou podem "aprender" de forma contínua ou podem ter seus pesos no processamento adequados de tempos em tempos, visando, dessa forma, fazer frente às variações do ambiente onde os sensores estiverem instalados, e com isso, garantindo a mesmo desempenho no tocante à acurácia (ambiente, nesse contexto, deve ser entendido como sendo as alterações nas características do tráfego - novas zonas geradoras de tráfego ou mesmo a sazonalidade do tráfego -, envelhecimento dos sensores, dos pavimentos, etc.).

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 (ver Figura 11). 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”.

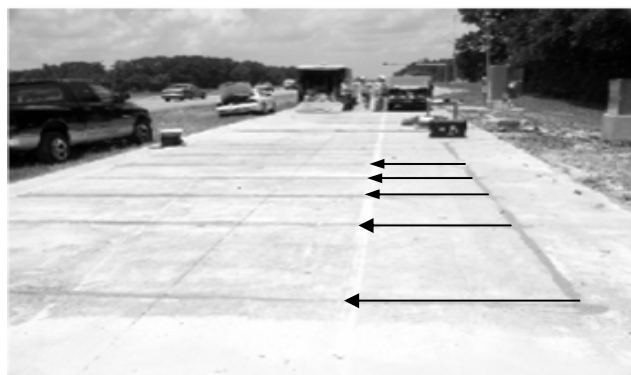


Figura 11 – Sistema de Múltiplos Sensores

4.1 Vantagens

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, especialmente diversos, para gerar resultados “livres” de efeitos do meio externo. As curvas de calibração são obtidas dependendo 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.

4.2 Desvantagens

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.