



## **ATENÇÃO**

# **AS INFORMAÇÕES CONSTANTES DESTES ARTIGO PODERÃO SER UTILIZADAS EM OUTROS TRABALHOS, DESDE QUE SEJAM CITADAS ESTA FONTE E OS AUTORES**

### **Copyright 2011, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP**

Este Trabalho Técnico foi preparado para apresentação no *XVI CILA – Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto*, realizada no período de 20 a 25 de novembro de 2011, no Rio de Janeiro. Este Trabalho Técnico foi selecionado para apresentação pelo Comitê Técnico do evento, seguindo as informações contidas na sinopse submetida pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho Técnico, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis, seus Associados e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho Técnico seja publicado nos Anais do *XVI CILA – Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto*.

---

### **Resumo**

O tema “avaliação de dano ao pavimento” é muito discutido, dada a grande importância que representa na avaliação das estruturas, seja para implantação ou para restauração. As metodologias de dimensionamento utilizadas são geralmente referenciadas a critérios de falha que consideram cargas e pressões de inflação de pneus praticadas nas décadas de 50 e 60, época em que foram realizados os experimentos da AASHO – American Association of State Highway Officials. Este trabalho se propõe a apresentar os resultados de avaliações realizadas com determinações de áreas de contato, obtidas pela impressão da pegada de pneus de um guincho pesado nas condições atuais de inflação e tipo de pneus utilizados. Simulações com efeitos deste carregamento foram efetuadas com estruturas de pavimento com revestimento asfáltico para a observação das diferenças que ocorrem ao dano no pavimento, em comparação ao semi-eixo padrão normalmente considerado para fins de projeto. Os gráficos de comportamento, elaborados para diferentes espessuras de revestimento, permitem visualização e contraste de comportamento entre eles.

### **Abstract**

"Damage to the pavement evaluation" is an intensively discussed theme, given the great importance that represents to the structure evaluation, whether for construction or rehabilitation. The design methodologies used nowadays are usually referenced to the failure criteria that consider loads and inflation pressures of tire prevailing in the 50's and 60's decade considered to the experiments of AASHO - American Association of State Highway Officials. This paper aims to present the results of evaluations made by contact areas of footprints determined from tires of a heavy winch truck on the current conditions of inflation and type of tires. Simulations with effects of loading were made in pavement structures with asphalt-surface to observe differences that occur in damage to the pavement, compared to semi-axis pattern usually considered for design objectives. Charts of behavior, made to different thicknesses of asphalt surface, allow visualization and contrast of behavior between them.

---

<sup>1</sup> Mestranda - UFSC, Diretora Técnica Centauros Engenharia e Representações Ltda

<sup>2</sup> Professor Doutor – UFSC

<sup>3</sup> Professor Doutor – UFSC



O guincho disponibilizado foi erguido por uso de um macaco hidráulico em altura suficiente para a colocação da placa de EVA sob os pneus. Através do uso de rolo de pintura, foi aplicado o óleo queimado com o cuidado de não haver excessos que pudessem comprometer a interpretação das áreas obtidas. A Figura 2. permite a visualização da configuração do guincho que é um 3C, ou seja, eixo dianteiro simples de roda simples e eixo tandem duplo traseiro.



Figura 2. Guincho pesado utilizado

A Figura 3 registra o momento em que o pneu foi abaixado para a impressão de sua pegada. Esta imagem refere-se ao pneu dianteiro do lado direito do guincho.



Figura 3. Posicionamento da placa de EVA para impressão

Na figura 4a está apresentada a impressão obtida para este pneu. Na figura seguinte, 4b, está apresentada a mesma impressão com o tratamento efetuado no programa AutoCad, onde se delimitou o contorno das áreas carregadas do pneu. Esta etapa permitiu obter-se a área de maneira precisa.

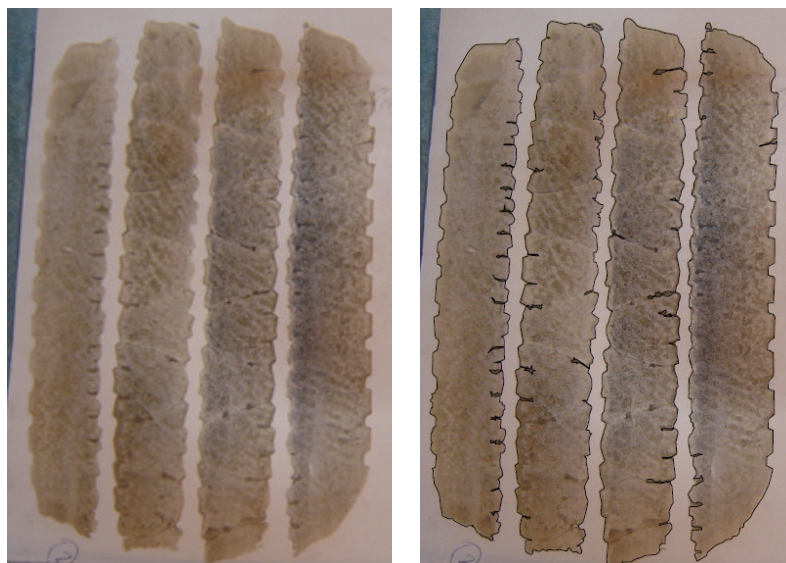


Figura 4. (a) Impressão da pegada e (b) Impressão com delimitação da área

Nota-se que a impressão apresenta formato com tendência a retangular. Fernandes Jr, citado por Albano (2005), informa que a superfície de contato se aproxima de uma elipse (pneus de lona) ou retângulo (pneus radiais) a medida que a carga por eixo aumenta ou a pressão diminui. No caso deste pneu percebem-se quatro bandas de carregamentos que estão separadas pelas ranhuras longitudinais.

De maneira análoga foi efetuado para os demais pneus.

#### 4. Parâmetros de Análise

Para a avaliação a que se propõe, foram então obtidas informações complementares. Com relação às cargas de operação do guincho os valores de cargas obtidos foram os indicados na Tabela 1.

Tabela 1. Cargas pesadas nos eixos

Eixo	Carga (kN)
Dianteiro (eixo simples de rodas simples)	64,0
Traseiro (eixo tandem duplo)	161,1
Peso Bruto Total	225,1

Dados de estrutura de pavimento foram obtidos para a Serra das Araras, região montanhosa próxima a Base 10 onde este guincho é utilizado. A estrutura fornecida para esta região é composta de revestimento em concreto asfáltico denso com 23 cm de espessura sobre uma camada granular de brita graduada simples com 31 cm de espessura sobre subleito.

Para a presente avaliação foi admitida a análise nesta estrutura de pavimento e a variação da espessura da camada betuminosa. Pretendeu-se com isto observar os resultados computacionais a medida que houvesse acréscimo ou decréscimo de espessura betuminosa.

Os parâmetros arbitrados e utilizados no programa para os materiais integrantes do pavimento foram os apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros dos materiais

Material	Módulo Elástico (MPa)	Coefficiente de Poisson
Revestimento betuminoso	4.500	0,30
Base granular	120	0,35
Subleito	100	0,40



## 6. Avaliação da Condição Crítica de Análise

Baseado nos dados de cargas apresentados na Tabela 1 é possível perceber que a carga por roda no eixo dianteiro é maior que em cada roda do eixo tandem. Ao passo que o eixo dianteiro recebe 32 kN por roda, no tandem duplo cada roda recebe aproximadamente 20,14 kN. Considerando, portanto, o eixo dianteiro como crítico neste veículo, as análises foram efetuadas para este eixo.

Lançando-se mão das áreas e disposições das mesmas para o eixo dianteiro, foi efetuada a avaliação de um carregamento de um pneu com quatro faixas de carga.

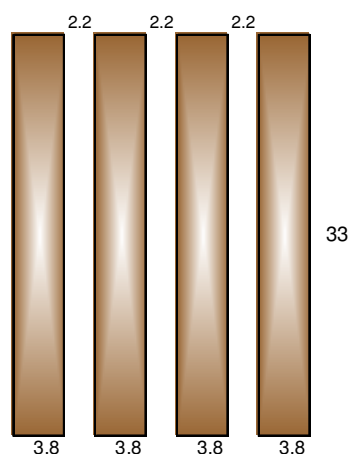


Figura 5. Croquis esquemático de cargas (medidas em cm)

No que se refere às espessuras de revestimento admitidas para esta avaliação, sendo a espessura real de campo de 23 cm, foram tomadas espessuras de 13 cm, 18 cm, 23 cm e 28 cm.

## 7. Resultados dos Processamentos

O processamento das estruturas foi realizado pelo programa Viscoroute, do LCPC. O programa possui interface amigável e se propõe a análises complexas de estruturas de pavimentação. A Figura 6 mostra a página de entrada de dados de estrutura de pavimento.

	Z (m)	Epais. (m)	Module E (MPa)	Coef. de Poisson	Mas. Vol. (kg/m <sup>3</sup> )	Type de matériau	Comport.	Type de liaison	Module E0 (MPa)	T (°C)	k (loi H-S)	h (loi H-S)	delta (loi H-S)	A0	A1	A2
1	0,230	0,230	4500,00000	0,300	2400,000	autre	Elastique	collée	0,00000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000000
2	0,540	0,310	120,00000	0,350	1900,000	autre	Elastique	collée	0,00000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000000
3		infini	100,00000	0,400	1700,000	autre	Elastique	collée	0,00000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000000

Figura 6. Página de entrada de dados de estrutura para espessura de revestimento de 23 cm (Viscoroute)

Os dados de carregamentos são também introduzidos para que seja possível o processamento. Na Figura 7 está apresentada a nomenclatura de configuração da carga para o programa. Os dados para carregamento real do eixo simples de rodas simples do guincho (ESRS g) estão apresentados na Figura 8. Já os dados para o eixo simples de rodas duplas do eixo padrão (E Padrão) podem ser visualizados na Figura 9.

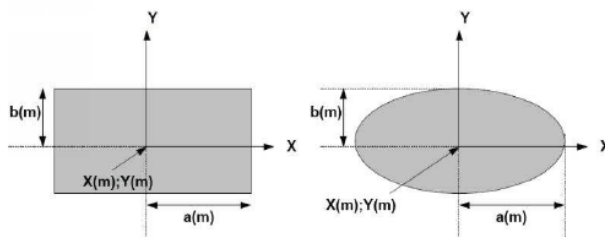


Figura 7. Dados de entrada de geometria de carga apresentados por Chabot et al (2010)

	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Type de charge	a (m)	b (m)	x (m)	y (m)
1	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	-0.090
2	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	-0.030
3	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	0.030
4	0.000	0.000	8000.000	Rectangle	0.165	0.019	0.000	0.090

Figura 8. Dados de carregamento para a área de roda do eixo dianteiro do guincho

Figura 9. Dados de carregamento para a área de rodas do eixo padrão

Como pode ser observado, o Viscoroute precisa de parâmetros de carga e geometria da área carregada para a realização dos cálculos. Como é considerada em vários programas de análise de pavimentos, a pressão considerada é função destes dois parâmetros fornecidos. A pressão de enchimento de pneus fica implícita, já que a área carregada aqui considerada é a área determinada para um pneu com pressão de inflação de 110 psi

Cabe salientar que a velocidade que figura com 20 m/s não tem efeito na análise, tendo em vista que todas as camadas foram tomadas por comportamento elástico como mostra a Figura 6.

Os resultados destes processamentos estão apresentados nas Figuras 10, 11, 12e 13 para deflexões recuperáveis no topo do revestimento, deformação máxima unitária de tração radial no sentido do movimento do veículo na profundidade da face inferior do revestimento, deformação máxima unitária de tração radial no sentido transversal do movimento na face inferior do revestimento e deformação máxima unitária de compressão vertical no topo do subleito, respectivamente.

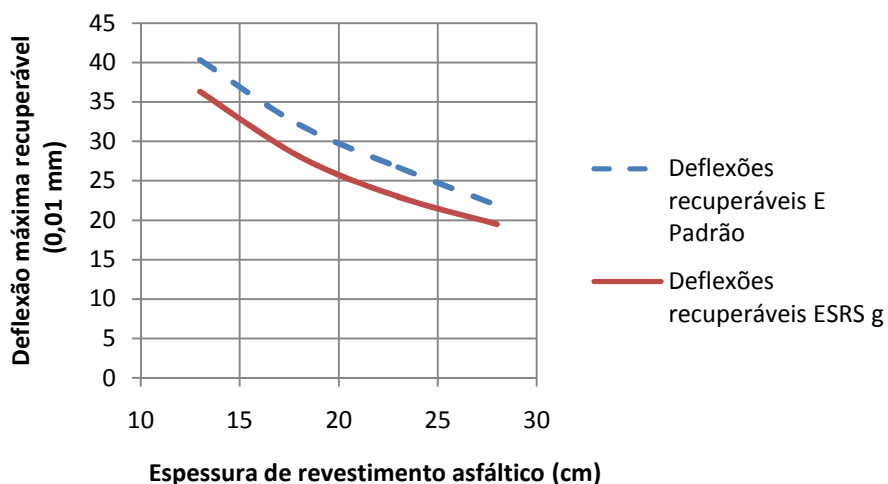


Figura 10. Deflexões máximas no topo do revestimento

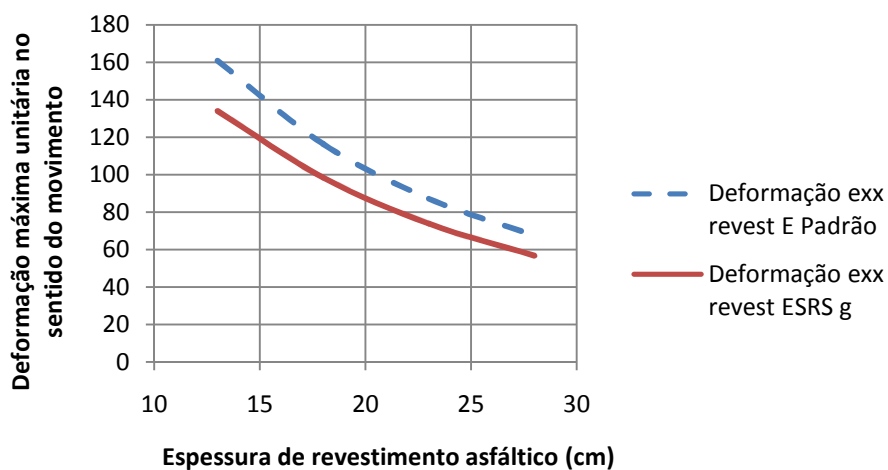


Figura 11. Deformação máxima unitária de tração radial no sentido do movimento do veículo na face inferior do revestimento

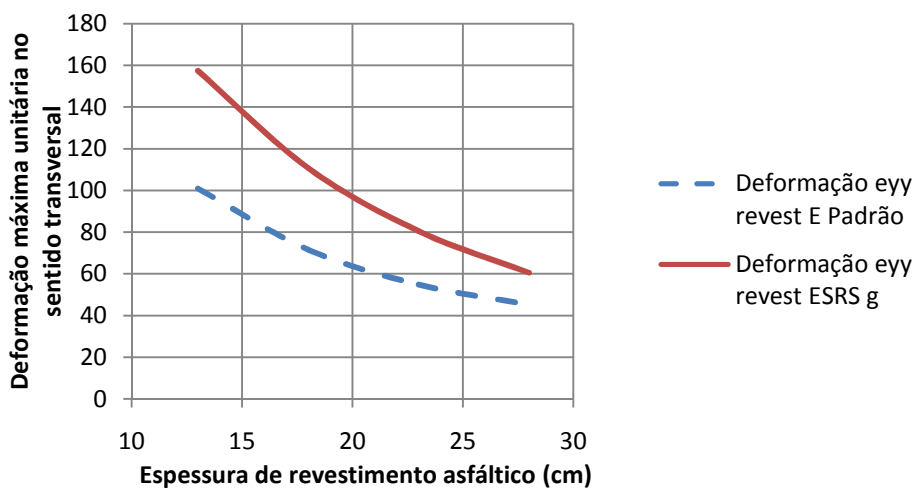


Figura 12. Deformação máxima unitária de tração radial no sentido transversal do movimento do veículo na face inferior do revestimento

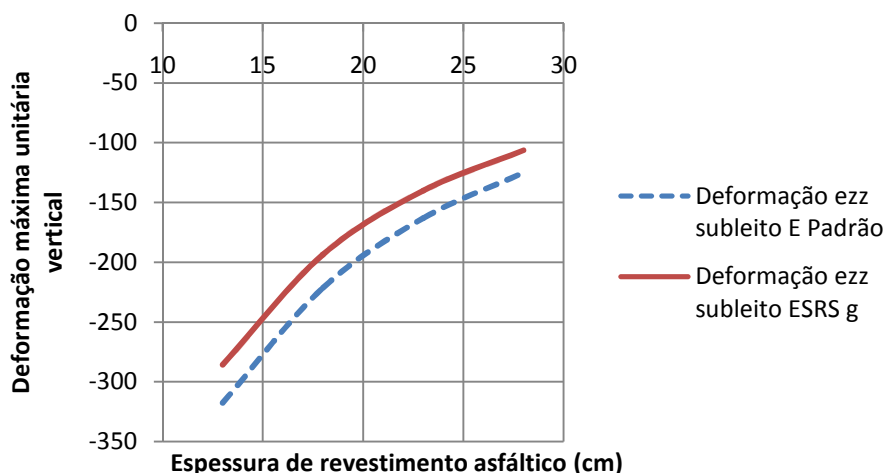


Figura 13. Deformação máxima unitária de compressão vertical no topo do subleito

A visualização da Figura 10. indica que as deflexões encontradas para os dois tipos de carregamento tem relativa proximidade de valores, embora o eixo padrão sempre tenha resultados maiores.

As deformações radiais no sentido do fluxo também se mostram, na Figura 11, com valores maiores para o eixo padrão. Entretanto, nas deformações no sentido transversal ao movimento, os valores referentes ao carregamento do guincho são maiores que os valores calculados para o eixo padrão (Figura 12).

Finalmente, para os valores de deformação vertical no topo do subleito, as deformações do eixo padrão se mostraram ligeiramente superiores aos encontrados para a roda do guincho, como mostra a Figura 13.

Os resultados obtidos, na maioria dos casos, mostram que os maiores valores são encontrados para o eixo padrão. Se a avaliação estivesse sendo feita para eixo simples de rodas duplas com área real, presumir-se-ia que na maioria dos valores a adoção de cálculos pelo eixo padrão colocaria os cálculos a favor da segurança. Entretanto, lembrando que o carregamento real é de um eixo simples de rodas simples, os resultados tornam-se preocupantes. A proximidade das respostas entre as duas hipóteses pode indicar a necessidade de maior atenção aos dimensionamentos que são efetuados.

Há que se considerar a questão de que a carga utilizada é resultado do contrapeso que o guincho possui e que solicita o eixo dianteiro de maneira mais intensa que os demais caminhões.

De acordo com Marcon e Moraes (2010) e Marcon et al (2011), estudos estatísticos com pesagens de veículos nas balanças de Queluz e Guararema mostram que um mesmo tipo de eixo apresenta moda de cargas diferentes dependendo da configuração e do peso bruto total (PBT) do veículo.

Nas Figuras 14 e 15 estão apresentadas as modas obtidas para eixos simples de rodas duplas para os dados de balança de Queluz nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2009.

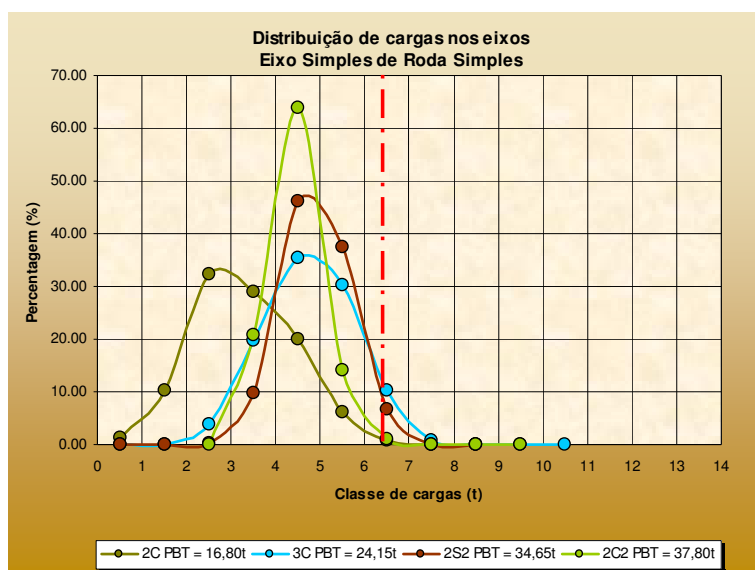


Figura 14. Percentagens de ocorrência de cargas em eixo simples de rodas simples para PBT menor que 40t – Marcon e Moraes (2010)



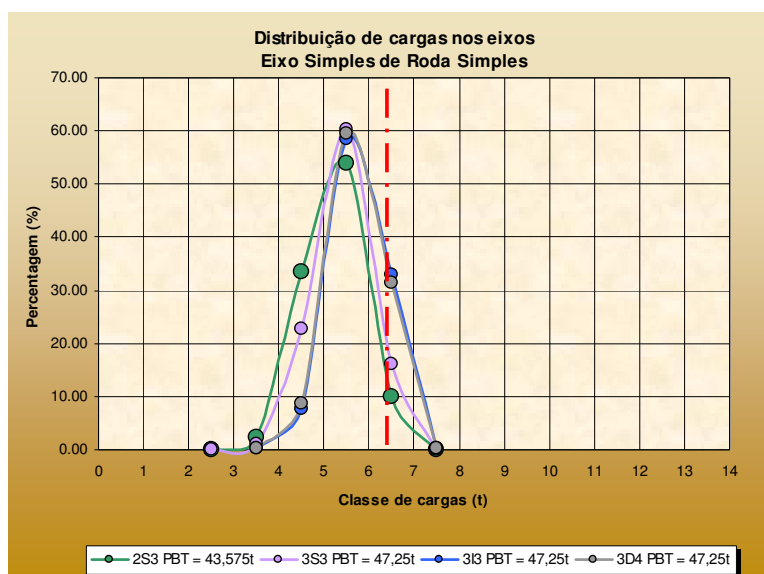


Figura 15. Percentagens de ocorrência de cargas em eixo simples de rodas simples para PBT maior que 40t – Marcon e Moraes (2010)

As nomenclaturas de veículos obedecem as prerrogativas das normas indicadas no quadro de fabricantes de veículos do DNIT (2009)

De acordo com a Figura 14, embora a maioria dos veículos com PBT inferior a 40t tenham as maiores porcentagens de carga abaixo de 5t, aproximadamente 10% dos veículos 3C e no entorno de 8% dos veículos 2S2 passam com cargas no limite da carga máxima legal (CML) estabelecida pelo CONTRAN (2006 e 2010). Esta condição é muito parecida com a simulada nos processamentos apresentados.

Os veículos com PBT superior a 40t que são mostrados na Figura 15. Mais de 30% dos veículos 3I3 e 3D4, assim como 10% dos veículos 2S3 e aproximadamente 18% dos veículos 3S3 apresentam cargas no eixo dianteiro no limite da carga máxima legal (CML), condição semelhante da análise realizada na simulação para o guincho.

## 8. Considerações Finais e Conclusões

As análises efetuadas para as estruturas de pavimento flexível admitidas mostram que, para a condição de carregamento de eixo dianteiro do guincho pesado, as respostas computacionais ficam próximas aquelas calculadas para um eixo simples de rodas dupla com carga padrão de 8,2t.

Os valores de fator de equivalência de eixo, para um eixo simples de roda simples com 6,3t, resultam em 0,360 e 0,432 do eixo padrão calculados pelas premissas do Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (USACE) e da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) respectivamente. Estes fatores estão muito aquém da relação entre valores obtidos nos cálculos apresentados.

Considerações referentes a viscoelasticidade das camadas betuminosas podem intensificar ainda mais o evidente acréscimo de dano ao pavimento, considerando-se veículos percorrendo segmentos de rodovias a baixas velocidades e com temperaturas elevadas.

Ocorrências de cargas no entorno do limite da CLM para estes eixos são frequentes e contribuem significativamente para o dano ao pavimento.

## 9. Agradecimentos

Agradecimentos a CCR NovaDutra pelo apoio e disponibilidade de equipamento e equipe para esta análise. Especial agradecimento ao Eng. Fernando de Oliveira Fortes que viabilizou a realização das atividades de campo com a disponibilização do guincho, a realização dos procedimentos de obtenção de cargas e impressões de pneus e ao operador de guincho pesado José Antonio dos Reis Medeiros pela infinita boa vontade e prestatividade.

## 10. Referências

- ALBANO, J.F., Efeitos dos excessos de cargas sobre a durabilidade de pavimentos – Tese de Doutorado pela UFRGS, Brasil, 2005.
- CHABOT, A., CHUPIN, O., DELOFFRE, L., DUHAMEL, D. – Viscoroute 2.0: a tool for the simulation of moving effect on asphalt pavement In: RMPD Special Issue on Recent Advances in Numerical Simulation of Pavements 11, p. 227-250 fev, 2010
- CONTRAN – “Resolução 210 de 13 de novembro de 2006”, Conselho Nacional de Trânsito – Ministério das Cidades, Brasil, novembro de 2006.
- CONTRAN – “Resolução 353 de 24 de junho de 2010”, Conselho Nacional de Trânsito – Ministério das Cidades, Brasil, junho de 2010.
- DNIT - “Quadro de Fabricantes de Veículos”, Coordenação Geral de Operações Rodoviárias – Diretoria de Infra-estrutura Viária, Brasil, outubro de 2009.
- MARCON, A.F., MORAES, M.S.N., Análise de amostra de pesagens de uma frota de veículos comerciais quanto a distribuição de cargas por eixo In: 40ª RAPV – Reunião Anual de Pavimentação, Brasil, 26 a 28 de outubro de 2010.
- MARCON, A.F., MORAES, M.S.N., TRICHÊS, G., Commercial vehicles fleet analysis considering axle loads distribution In: 5th International Conference Bituminous Mixtures and Pavements, Greece, 1 a 3 de junho de 2011.