

EXCESSO DE PESO NOS VEÍCULOS RODOVIÁRIOS DE CARGA E SEU EFEITO NO FATOR DE EQUIVALÊNCIA DE CARGA

Felipe Gonçalves de Jesus (Universidade Estadual de Londrina) felipedejesus@gmail.com
Heliana Barbosa Fontenele (Universidade Estadual de Londrina) heliana@uel.br

Resumo: O dimensionamento de pavimentos flexíveis é determinado por diversos fatores, que tem em comum parâmetros para resistir aos esforços e solicitações resultantes da passagem dos veículos, dando características de qualidade e trafegabilidade aos usuários. Os pesos brutos máximos admissíveis são estabelecidos por lei, porém, com o intuito de aumentar a competitividade, diminuir prazos e entre outras justificativas, as empresas que usam o modal rodoviário os excedem. O presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito indireto produzido pelos excessos de peso nos veículos de carga. A análise foi feita a partir do cálculo dos Fatores de Equivalência de Carga do USACE (FEC) com base em dados de pesagem de três concessionárias no estado do Paraná, dos anos de 2008 e 2009. As médias mensais dos excessos de peso nos eixos simples, duplo e triplo foram utilizadas. Como resultado pode-se comprovar a interferência significativa que o sobrepeso dos veículos causa nos valores de FEC. O aumento nos valores de FEC em função da sobrecarga contribuirá para a aceleração dos níveis de deterioração e consequente redução da vida útil dos pavimentos.

Palavras-chave: Fator de Equivalência de Carga, Excesso de peso, Carga por eixo, USACE.

TRUCK OVERLOAD AND ITS EFFECT ON LOAD EQUIVALENCY FACTOR

Abstract: The design of flexible pavements is determined by several factors, which have in common efforts to resist parameters and resulting applications, the passage of vehicles, giving quality features and trafficability. The traffic loads for trucks are established by law, however to competitiveness, reducing the time of transportation, companies that use the road exceed. The present work aims to study the indirect effect produced by truck overload. The analysis was performed from the calculation of the USACE Load Equivalency Factor (LEF) based on weight data from three companies in Paraná in 2008 and 2009. The monthly averages of overweight in single, double and triple axles were utilized. As a result one can prove significant interference that overweight vehicles cause on the values of FEC. The increase in the amount of FEC due the overload contributes to acceleration of the levels of deterioration and consequent reduction in pavements life.

Keywords: Load Equivalency Factor, overload, axle load, USACE.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário possui a maior representatividade na matriz de transporte de cargas no Brasil, sendo sua participação de 61,1%. Do ano de 2008 a 2013 a frota de veículos teve aumento de 68% (CNT, 2013a, 2013b).

A utilização do transporte rodoviário é relacionada a diversos fatores como seu baixo custo inicial de implantação, flexibilidade e integração com os todos os estados no país, grande extensão de malha rodoviária e previsão confiável de prazos de entrega de produtos. Porém, seu alto custo de manutenção, baixa capacidade de carga, com limitação de peso e os grandes impactos ambientais gerados são motivos de preocupação (BRASIL, 2013).

Na busca de redução de custos e da otimização do transporte, empresas alteram as configurações de sua frota fazendo com que se aumente a capacidade de carga de cada veículo. Em contrapartida há interferência no fluxo das rodovias, e o desempenho e a durabilidade dos pavimentos fica comprometido. Para entender estas inovações do setor são necessários estudos com a finalidade de determinar os efeitos provocados pelo tráfego e verificar a existência de excessos nos veículos de carga (ALBANO, 2005).

Soares e Motta (2001) afirmam que o tráfego é o principal carregamento a ser considerado nos métodos empíricos ou mecânicos de dimensionamento de pavimentos e que ainda deve-se modelar o tráfego real ao longo da vida útil do pavimento.

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito indireto produzido pelos excessos de peso nos veículos de carga em termos de equivalência ao eixo padrão.

1.1. Pesagem de veículos

O Plano Nacional Diretor de Pesagem desenvolvido em 1972 foi o início do processo de pesagem de veículos no Brasil. Em 1980 aconteceu a implantação do primeiro Posto de Pesagem de Veículos (PPV), localizado na BR 277/PR, subtrecho Laranjeiras do Sul – Cascavel, Km 567, na região oeste do Estado do Paraná, tendo sua localização justificada pela grande produção agrícola e interligação com países como Argentina e Paraguai. A partir de 1996 foi criado o Anel de Integração do Paraná com cerca de 1800 quilômetros de rodovias federais, 300 quilômetros de rodovias estaduais, divididos em seis lotes para empresas concessionárias (PETERLINI, 2007).

Segundo Albano e Lindau (1998) existem em operação dois tipos principais de pesagem: a estática e a dinâmica. Na pesagem estática o veículo passa por uma balança seletiva, a uma velocidade entre 10 a 100 km/h, caso haja excesso, o veículo é desviado para uma balança de precisão onde fica parado. Há um sistema que controla o peso dos caminhões devido sua configuração. Para a pesagem dinâmica os veículos são pesados em movimento, permitindo o controle de peso e dimensão de todos os veículos de carga sem produzir filas ou demoras, medição do peso bruto total e da carga por eixo, classificação e controle dos limites.

1.2. Estudos sobre o excesso de peso

Diversos trabalhos já foram publicados em relação ao estudo do excesso de peso. Albano e Masieiro (2003) avaliaram a redução na vida útil prevista para os pavimentos com tráfego com e sem pesagem em função do Fator de Veículo e modificações no número N, levando em consideração os fatores de equivalência de cargas da USACE, em um trecho de uma rodovia do Rio Grande do Sul. Formularam hipóteses de carregamento quanto ao crescimento da frota de veículos de carga. Concluíram que a comparação entre o trecho com pesagem e o que não havia é de uma redução de 22,7% na vida útil do pavimento, sendo o fator de veículo acrescido 34,5%. Ressaltam ainda a importância da pesagem para a preservação da serventia e otimização da aplicação de recursos.

Díaz et al. (2012) analisaram o impacto em pavimentos asfálticos pelo método empírico-mecânico, comparando o ciclo de vida do pavimento para caminhões de alta capacidade de carga com várias configurações de eixo. Os caminhões deste tipo distribuem suas cargas sobre mais eixos com a justificativa da viabilidade técnica e econômica de se elevar a capacidade de carga, aumentando a permissão do peso bruto total do veículo. Os autores consideraram diferentes tipos de estruturas de pavimentos, condições climáticas, níveis de tráfego solicitante e compararam quanto aos pesos máximos permitidos por normas brasileiras, canadenses e australianas, visto que na região do Chile não havia experiências com o uso destas configurações. Os resultados obtidos foram que em eixos simples a implicação do impacto estrutural era maior do que em caminhões com maiores comprimento e mais quantidade de eixos e também que os CAT produziram trilhos de roda superficial proporcionalmente a seu peso bruto total. Provando finalmente, que os pavimentos existentes não eram adequados para configurações de carga maiores que as já permitidas por norma.

Pais et al. (2013) investigaram o impacto do excesso de peso em veículos no desempenho de pavimentos estudando os fatores de veículos para cada composição de eixos e também aplicando em cinco diferentes composições de camadas de pavimentos, verificando que a presença de excesso de peso aumenta o custo nos pavimentos em mais de 100%.

Fontenele et al. (2011) estudaram o efeito do excesso de peso nos veículos rodoviários de carga, verificando também a quantidade de autuações devido aos excessos. Os autores apontaram a realidade preocupante da situação de que o aumento de peso pode causar no pavimento e também o aumento do risco de acidentes pelo desgaste dos equipamentos dos veículos, diminuindo a segurança dos motoristas e outros usuários.

No Brasil, a Resolução do CONTRAN (2006) estabelece que os veículos comerciais devam respeitar os limites de peso bruto total. Com tolerância máxima 7,5% do peso bruto transmitido por eixo de veículo.

1.3. Efeitos no pavimento

Albano (1998) diz que o excesso de carga por eixo aumenta os lucros da indústria de transporte, por aumentar a capacidade de transporte, porém deteriora a camada de revestimento e a estrutura dos pavimentos.

A repetição de cargas aplicadas pelos veículos é a principal causa de deterioração nos pavimentos que merecem ter serviços de manutenção realizados periodicamente. A dificuldade maior é identificar cada carga gerada por esses veículos, devido a sua grande variabilidade. Os danos da ação do tráfego podem ser de desgastes da superfície de rolamento, envelhecimento do ligante betuminoso, fissuração, devido à fadiga na pela repetição das cargas e ainda por afundamento de trilha de roda ou ondulações na superfície (PETERLINI, 2006).

Fontenele (2013) infere que as cargas que agem nos pavimentos podem provocar deformações recuperáveis e permanentes, frente ao comportamento elástico da estrutura do pavimento ou ainda das características dos materiais aplicados na constituição de suas camadas.

1.4. Fatores de Equivalência de carga

Albano (2005) cita a importância de considerar metodologias de dimensionamento de pavimentos sejam eles empíricos ou mecânicos, pois existem diversos fatores que tem influência, tais como os diferentes tipos de veículos, cargas aleatórias, configurações de eixos, rodas e velocidades variáveis.

Existem diversos fatores de dimensionamento que levam em consideração, além do eixo-padrão, a perda de serventia, utilizada pela AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) e os efeitos do carregamento na deformação permanente, usado pela USACE - *United States Army Corps of Engineers* (Albano, 2005).

Para o dimensionamento de pavimentos, Peterlini (2007) aborda que a ação do tráfego é convertida em um número N, equivalente de repetições de carga de um eixo padrão simples de rodas duplas com carga de 8,2 tf. Em função do número N existem outros fatores que devem ser levados em conta, tais como o tráfego médio diário anual (TMDA), a taxa de crescimento de

frota, o Fator de Equivalência de Carga (FEC) e o Fator de Veículo que é utilizado para distinguir os tipos de veículos no cálculo do número N.

O FEC, utilizado pelo USACE, transforma o efeito da carga para o efeito de um eixo padrão de 8,2 tf, cuja configuração é de um eixo simples de roda dupla. Sendo a referência do dano no pavimento o afundamento plástico no subleito, considerado a 70 cm de profundidade, tendo o limite padrão de uma polegada de afundamento (Soares e Mota, 2001 e Peterlini, 2006). Tendo por base um fator de redução de 0,85 por acoplagem de eixo, compondo a os pesos máximos por eixo de 10tf, eixo simples; $10\text{tf} \times 2 \times 0,85 = 17\text{tf}$, para eixo duplo e $10\text{tf} \times 3 \times 0,85 = 25,5\text{tf}$, para eixo triplo.

Os dados analisados por este trabalho utilizaram as equações do FEC da USACE que são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Fatores de Equivalência de Carga do USACE (DNIT, 2006)

| Tipo de Eixo | Faixas de Cargas (tf) | Equações (P em tf) |
|--------------------------------------|-----------------------|---|
| Dianteiro simples e traseiro simples | 0 – 8 | $FEC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$ |
| | ≥ 8 | $FEC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$ |
| Tandem duplo | 0 – 11 | $FEC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,4720}$ |
| | ≥ 11 | $FEC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,4840}$ |
| Tandem triplo | 0 – 18 | $FEC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$ |
| | ≥ 18 | $FEC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$ |

P = peso bruto total sobre o eixo

É importante ressaltar que o conceito de conjunto de eixo e de eixo individual são distintos e devem ser levados em conta para o cálculo do FEC. Os conjuntos de eixo são o número de eixos que operam sendo simples, duplo ou triplo. Um eixo duplo, por exemplo, é formado por dois eixos individuais acoplados. Podem ainda ter conjuntos de rodas simples ou duplas, dependendo da necessidade de carga sobre cada eixo (SOARES e MOTTA, 2001).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item é apresentado o método usado no desenvolvimento do trabalho, mediante aos dados coletados das pesagens diárias nos anos de 2008 e 2009 em três concessionárias pertencentes ao Anel de Integração viário do Paraná.

As concessionárias e os PPVs (Postos de Pesagem Veicular) estão localizados nos seguintes trechos:

1. Caminhos do Paraná:
 - BR 277 - Km 322 sentido Guarapuava;
 - BR 277 - Km 245 sentido Irati;
 - BR 476 - Km 157 sentido Araucária;
2. Ecovia:
 - BR-277 no Km 30 sentido Curitiba;
 - BR-277 no Km 60 sentido Paranaguá;

3. Viapar:

- PR 317 no Km Peabiru.

Os PPVs fazem pesagem de acordo com o Guia Prático – Instruções Operacionais do DNIT (2010), e cumprem a exigência de funcionamento de 24 (vinte e quatro) horas por dia, inclusive em fins de semana e feriados. Além de pesarem todos os veículos, inclusive vazios.

As planilhas coletadas das concessionárias são padronizadas pelo o órgão estadual DER (Departamento de Estradas e Rodagens), onde contêm informações das datas, quantidade de veículos pesados, veículos autuados, categorias de veículos (carretas, caminhões, veículos especiais e ônibus) e também a Média dos excessos nos eixos simples, duplo e triplo, razão deste estudo.

Foram utilizados os valores máximos para cálculo para eixos simples (isolado) de 10 t, conjuntos de dois eixos de 17 t e conjuntos de três eixos de 25,5 t.

Utilizou-se as equações dos FEC do USACE para calcular os valores equivalentes a cada tipo de eixo com os pesos médios nos eixos, bem como com cargas máximas admissíveis por lei. Ao final foi realizada uma comparação entre os FEC obtidos com as cargas médias e os FEC obtidas com as cargas máximas permitidas (FEC_{máx}).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Os fatores de equivalência de Carga

Calculando o FEC máximo, de acordo com as fórmulas já expostas, para cada categoria de veículo, é possível verificar as seguintes condições:

- Eixo traseiro Simples de rodas duplas: Limite 10 t; FEC_{máx}= 3,29;
- Eixo tandem Duplo: Limite 17 t; FEC_{máx}= 8,55;
- Eixo tandem Triplo: Limite 25,5 t; FEC_{máx}= 9,30.

No valor P da fórmula, substituíam-se os valores médios das cargas dos eixos simples, duplo e triplo. Como exemplo, apresenta-se o cálculo do FEC_{máx} para o eixo tandem duplo:

$$FEC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,4840}$$

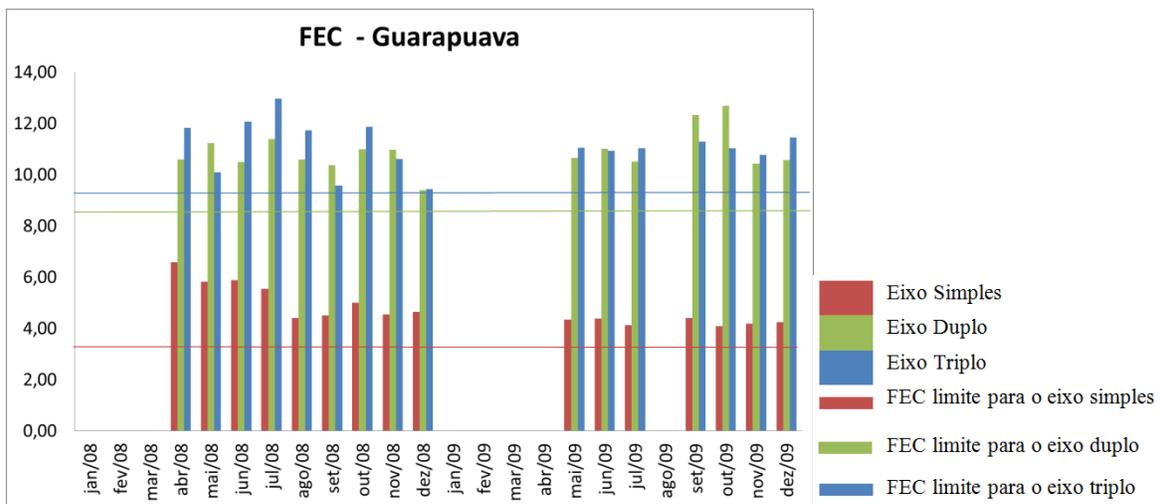
$$FEC = 1,5280 \times 10^{-6} \times 17^{5,4840} = 8,55$$

Os resultados em relação aos FEC de cada posto de pesagem são proporcionais aos seus excessos de carga. Pode-se constatar que o aumento de peso é muito maior que o valor para os eixos padrão, discutindo-se assim a importância do controle de cargas nas rodovias.

3.2. Concessionária Caminhos do Paraná

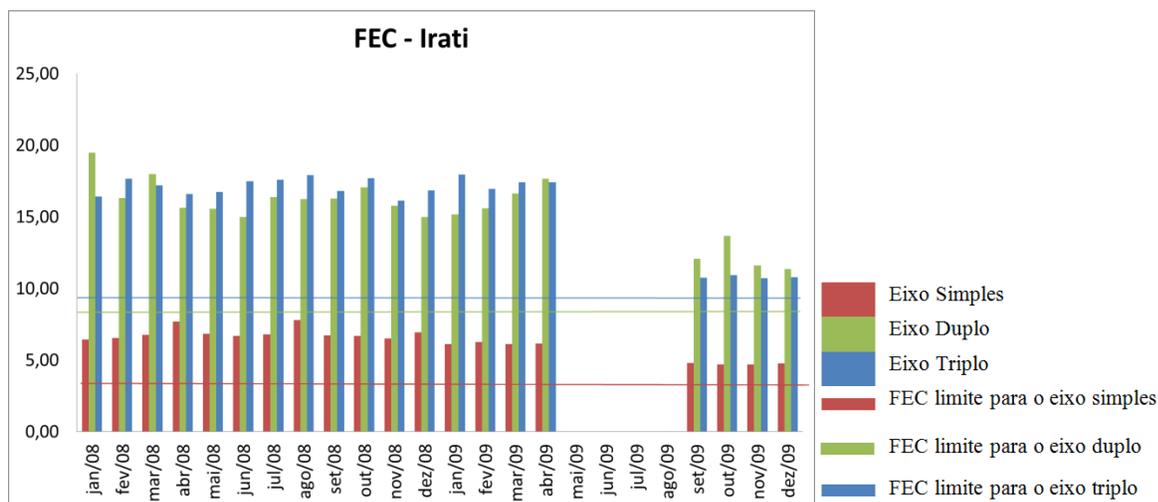
Analisando a Figura do FEC da concessionária Caminhos do Paraná, para o posto da BR 277 - Km 322 sentido Guarapuava (Figura 1), nota-se que o maiores valores para os FEC são para os eixos simples, 6,57, no mês de abril de 2008; duplo, 12,70 em outubro de 2009 e triplo, 12,97 em julho de 2008. O maior valor do FEC chega a 200%, em relação ao limite de carga máximo, sendo valor médio total de 131%.

Figura 1 - Valores dos FCE por eixo do PPV BR 277 - Km 322 sentido Guarapuava



Na Figura 2 do FEC da Caminhos do Paraná, para o posto da BR 277 - Km 245 sentido Irati, os maiores valores para os FEC são: eixos simples, 7,79, no mês de agosto de 2008; duplo, 19,47 em janeiro de 2008 e triplo, 17,96 em janeiro de 2009. O maior valor do FEC chega a 237%, em relação ao limite de carga máxima, sendo valor médio total de 181%. Nesta balança verificaram-se os maiores valores de FEC, é superior a duas vezes o obtido com a carga máxima permitida. Não se pode inferir, em relação à localização do PPV, que existe uma relação para maiores pesos nos veículos, seja para transporte de cargas agrícolas ou industriais.

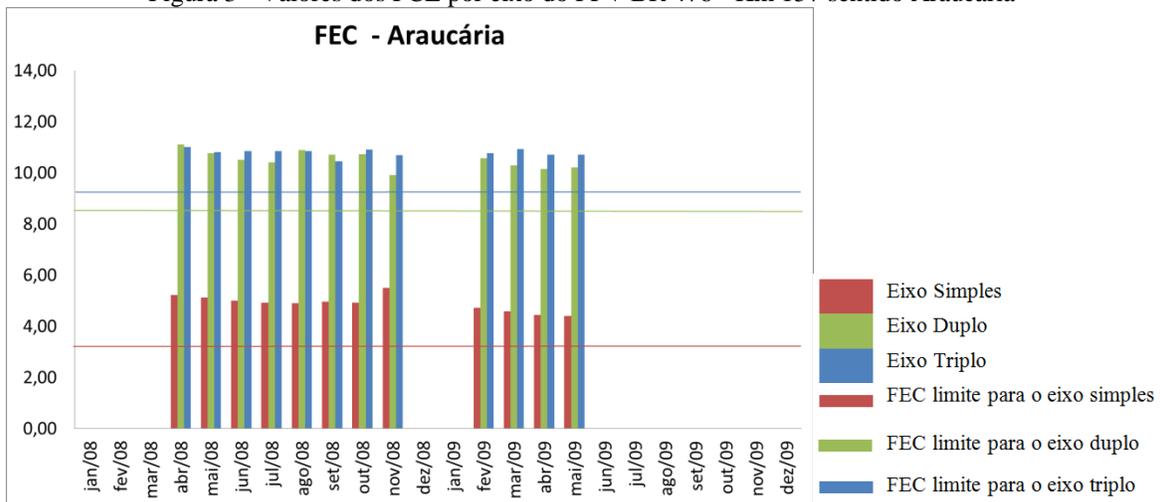
Figura 2 - Valores dos FCE por eixo do PPV BR 277 - Km 245 sentido Irati



Na Figura 3 do FEC da Caminhos do Paraná, para o posto da BR 476 - Km 157 sentido Araucária, os maiores valores para os FEC são: eixos simples, 5,50, em novembro de 2008;

duplo, 11,11 em abril de 2008 e triplo, 11,01 em abril de 2008. O maior valor do FEC chega a 167%, em relação ao limite de carga máximo, sendo valor médio total de 129%.

Figura 3 - Valores dos FCE por eixo do PPV BR 476 - Km 157 sentido Araucária

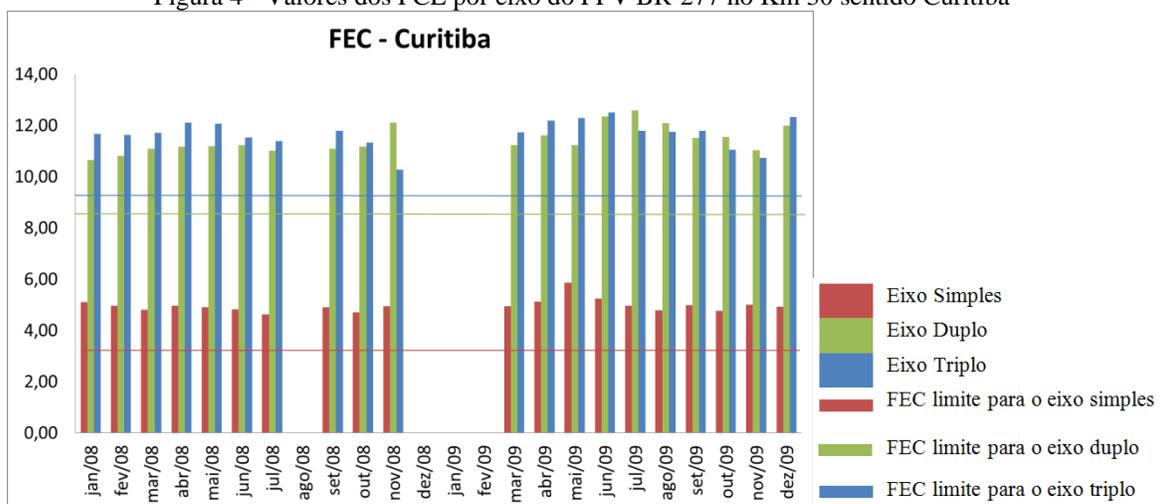


Verifica-se a ausência de dados em alguns meses das balanças. No registro de pesagens, constava que havia manutenções das balanças pelo Instituto de Pesos e Medidas, atualização de software e manutenção dos computadores e sensores das balanças.

3.3. Concessionária Ecovia

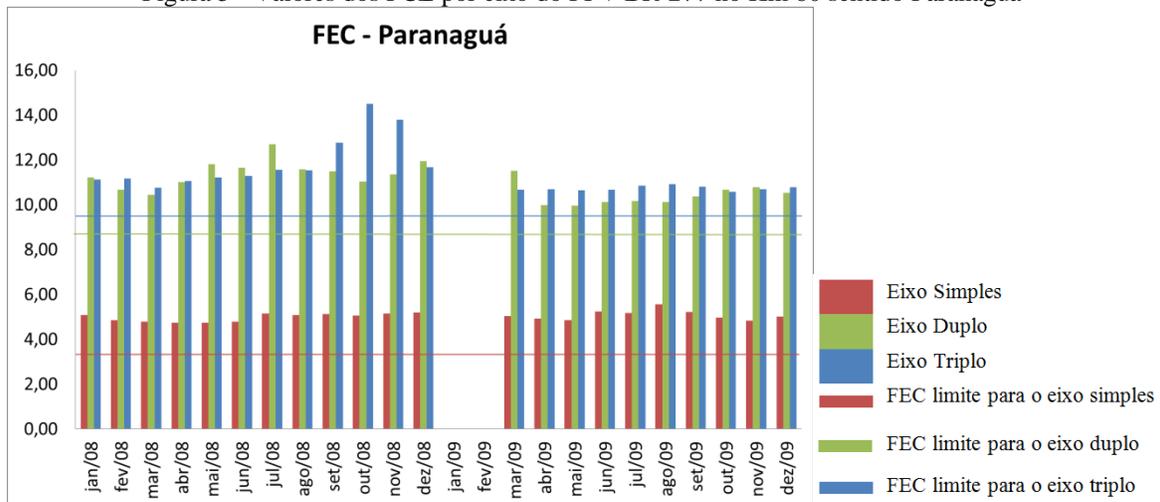
Para a Figura 4 do FEC da concessionária Ecovia, no posto da BR-277 no Km 30 sentido Curitiba, nota-se que os maiores valores para os FEC são para os eixos simples, 5,86, no mês de maio de 2009; duplo, 12,60 em julho de 2009 e triplo, 12,51 em junho de 2008. O maior valor do FEC é de 178%, em relação ao limite de carga máximo, sendo valor médio total de 122%.

Figura 4 - Valores dos FCE por eixo do PPV BR-277 no Km 30 sentido Curitiba



Para o posto da BR-277, no Km 60, sentido Paranaguá, (Figura 5) os valores do FEC são para os eixos simples, 5,55, no mês de agosto de 2009; duplo, 12,69 em julho de 2008 e triplo, 14,50 em outubro de 2008. O maior valor do FEC é de 169%, em relação ao limite de carga máximo e o valor médio total de 135%.

Figura 5 - Valores dos FCE por eixo do PPV BR-277 no Km 60 sentido Paranaguá

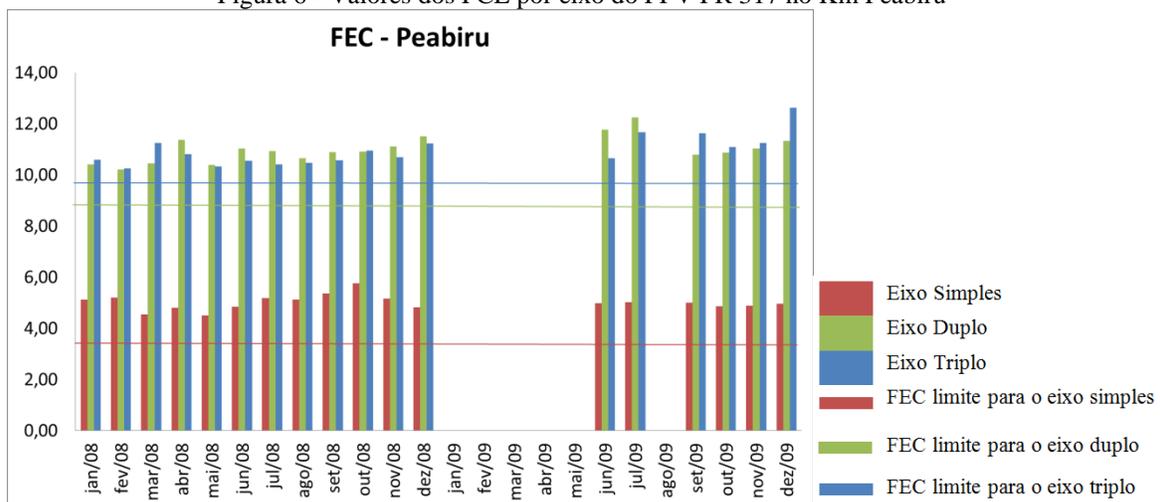


Percebe-se que poucos meses faltaram os valores das pesagens, sendo justificadas nas planilhas pela manutenção do piso das balanças.

3.4. Concessionária Viapar

A Figura 6 mostra os valores do FEC da concessionária Viapar, no posto da PR 317 no Km Peabiru, nota-se que o maiores valores para os FEC são para os eixos simples, 5,77, no mês de outubro de 2008; duplo, 12,25 em julho de 2009 e triplo, 12,62 em dezembro de 2008. O maior valor do FEC é de 175%, em relação ao limite de carga máximo, sendo valor médio total de 126%.

Figura 6 - Valores dos FCE por eixo do PPV PR 317 no Km Peabiru



A concessionária não informou a ausência de dados dos meses do ano de 2009, não podendo assim inferir que manutenções ou outras intervenções na balança foram realizadas.

4. CONCLUSÕES

Segundo as análises realizadas para os PPV em questão, não existe uma relação direta dos meses em que aconteceram os maiores excessos, não sendo possível afirmar que os períodos de safra, ou de maiores produções industriais são relevantes.

Percebe-se a dificuldade em manter a balança em funcionamento, como é exigido pelo DNIT. As justificativas de manutenções e aferições, não são totalmente aceitáveis, visto que se demora muito tempo para realizar tais serviços.

Os valores obtidos de FEC, pelas equações da USACE, mostram que os veículos com excesso de carga apresentam um efeito elevado no FEC quando comparado ao valor obtido com as cargas máximas permitidas por lei em cada um dos tipos de eixos de carga. Há uma variação significativa de seus valores, com o maior valor de FEC de 7,79, para eixo simples. Isto reflete um aumento de cerca de 237% do FEC obtido com o valor da carga máxima permitida por lei para esse tipo de eixo.

Com as análises realizadas, conclui-se que a pesagem não está sendo realizada com os critérios estabelecidos. A situação é grave no sentido de carregamento dos veículos ao pavimento, trazendo prejuízos para os projetos de dimensionamento e utilização das rodovias no Paraná.

REFERÊNCIAS

ALBANO, J. F.; LINDAU, L. A. *Pressão e tipo de pneus na frota de veículos decarga.* In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 12., 1998, Fortaleza, Anais. Fortaleza: ANPET. p. 100-107, 1998.

ALBANO, J. F. *Efeitos dos Excessos de Carga sobre a durabilidade dos pavimentos.* Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

ALBANO, J. F e MASIERO, E. *Efeitos da falta de fiscalização por pesagem sobre os pavimentos flexíveis.* Revista Estradas, Porto Alegre, Ano 3, n.º. 5, p. 61-66, nov. 2003.

BRASIL, Ministério dos transportes. <www.transportes.gov.br/> Acesso em 10/10/2013.

CNT - BOLETIM ESTATÍSTICO - CNT - Outubro 2013, disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Boletim%20Estat%20C3%ADstico/estatistico_outubro_2013.pdf>. Acesso em 10/10/2013 (a).

CNT – Confederação Nacional do Transporte. Pesquisa CNT de rodovias. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>> Acesso em 10/10/2013(b).

CONTRAN. RESOLUÇÃO Nº 210 DE 13 DE NOVEMBRO DE 2006 *Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências.* Brasília, 2006. 7p. 2006.

DÍAZ, R., ECHAVEGUREN, T., VARGAS-TEJEDA, S. *Camiones de alto tonelaje y su impacto en ciclo de vida de pavimentos asfálticos.* Revista de la Construcción Vol 11, No 1, 2012. Pgs 101-118. 2012

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte. *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Pub. IPR-720. Rio de Janeiro, 2006.

FONTENELE, H. B. ; FERNANDES JUNIOR, J. L. . *Modelos probabilísticos para espectros de carga por eixo e seus efeitos no dimensionamento e desempenho de pavimentos flexíveis*. Revista Pavimentação, v. 1, p. 28-42, 2013.

FONTENELE, HELIANA BARBOSA; ZANUNCIO, C. E. M. ; SILVA JÚNIOR, CARLOS ALBERTO PRADO DA . *O excesso de peso nos veículos rodoviários de carga e seu efeito*. Teoria e Prática na Engenharia Civil (Online), v. 18, p. 95-103, 2011.

PAIS, J., AMORIM, S., AND MINHOTO, M. *Impact of Traffic Overload on Road Pavement Performance*. J. Transp. Eng., 139(9), 873–879. 2013.

PETERLINI, P. S. *Cargas por Eixo e Fatores de Veículos obtidos em Rodovias Federais Concessionadas do Estado do Paraná*. Florianópolis, SC, 192 p. 2006.

PETERLINI P. S. *Cargas Por Eixo E Fatores De Veículos Em Rodovias Federais Concessionadas No Estado Do Paraná*. 2007. 38ª Reunião Anual De Pavimentação 12º Encontro Nacional De Conservação Rodoviária 38ª Rapv / 12º Enacor. 2007

SOARES, J. B. E MOTTA, L. M. G. *Considerações sobre a determinação do Fator de Veículo no cálculo do Número N*. In: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 15. 2001. Campinas, SP. Anais... Rio de Janeiro: ANPET, 2001. p381-389. 2001.